Manual de CRIMINALÍSTICA MODERNA

Alain Buquet

Copyrighted material

traducción de
VÍCTOR GOLDSTEIN

Copyrighted material

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA MODERNA

La ciencia y la investigación de la prueba

por
ALAIN BUQUET

siglo veintiuno editores

MÉXICO
ARGENTINA
ESPAÑA

Copyrighted material

siglo xxi editores, s.a. de c.v.
CERRO DEL AGUA 248, ROMERO DE TERREROS, 04310, MÉXICO, D.F.

siglo xxi editores, s.a.
TUCUMÁN 1621, 7º N, C1050AAG, BUENOS AIRES, ARGENTINA

siglo xxi de españa editores, s.a.
PRÍNCIPE DE VERGARA 78, 28006, MADRID, ESPAÑA

HV8073
B8618
2006

Buquet, Alain
Manual de criminalística moderna : la ciencia y la investigación de la prueba / por Alain Buquet ; traducción de Víctor Goldstein. — México : Siglo XXI, 2006
258 p. : il. — (Criminología y derecho)
Traducción de: Manuel de criminalistique moderne
ISBN 968-23-2612-5

1. Investigación criminal — Manuales, etc
I. Goldstein, Víctor, tr. II. t. III. Ser.

portada: target

primera edición en español, 2006
© siglo xxi editores, s.a. de c.v.
isbn 968-23-2612-5

primera edición en francés, 2001
segunda edición en francés, revisada, 2003
© presses universitaires de france, paris
título original: *manuel de criminalistique moderne. La science et la recherche de la preuve*

derechos reservados conforme a la ley
impreso y hecho en méxico / printed and made in mexico

Copyrighted material

ACTUALIZACIÓN A LA SEGUNDA EDICIÓN FRANCESA

En unos pocos meses la criminalística ha evolucionado a grandes zancadas, por lo cual es necesario mencionar los progresos más importantes reciente o próximamente utilizados por la policía científica.

Los ejemplos escogidos cubren diferentes campos.

Huellas digitales

Es muy posible que un juez federal de Filadelfia, Louis H. Pollak, deje su huella en la historia judicial norteamericana. En un fallo pronunciado al margen el 7 de enero de 2002 en el caso "Estados Unidos *vs.* Plaza", puso nuevamente en tela de juicio la fiabilidad del sistema de identificación con la huella digital, pues a su modo de ver la probabilidad de certidumbre no es de un ciento por ciento y por ello siempre existe el riesgo de equivocarse. La misma argumentación podría también aplicarse a las huellas genéticas. Lo importante es que, en la incertidumbre, el experto debe pronunciarse con una certeza específica, esto es, debe calcular el porcentaje de riesgo de error.

Los demás países no siguen puntualmente esta revisión de los norteamericanos.

Las autoridades francesas contemplan, para la futura tarjeta de identidad electrónica que se espera para 2007, la incorporación en la propia tarjeta de una huella digital como sistema de identificación.

Recordemos, sin embargo, que este sistema es una de las tecnologías biométricas más fidedignas y que ha sido segura desde hace un siglo (caso Scheffer, marzo de 1902). Actualmente lo utilizan todos los cuerpos policiacos del mundo.

Huellas genéticas

Hoy por hoy el archivo de huellas genéticas solamente contiene el perfil de las personas sentenciadas. Va a extenderse a los sospechosos y a los acusados, inspirándose en el modelo anglosajón.

En el plano técnico, la elaboración de este nuevo archivo ha plan-

Copyrighted material

teado numerosos problemas, especialmente en lo relativo a la conservación de las muestras que por ley deben guardarse durante cuarenta años. Los trabajos de A.J. Jeffreys datan apenas de 1985, por consiguiente no se posee la suficiente distancia para saber con certeza cómo conservar una huella genética durante cerca de medio siglo sin que se degrade.

Como en el caso de cualquier muestra biológica, evidentemente en lo primero que se piensa es en la conservación por congelación a –86 °C. Esta técnica compleja y costosa es aplicable únicamente a las muestras ya tomadas, porque en 2001 Francia decidió adoptar la tecnología FTA (Finders Technologies Associates), elaborada por un equipo de investigadores australianos, y que consiste en la utilización de un "secante" químico que permite tomar y luego conservar el ADN a temperatura ambiente.

La utilización de kits de muestreo FTA hará que se multiplique de manera exponencial la cantidad de perfiles tomados cada año.

En el plano metodológico la identificación de un individuo por su tipo de ADN presenta para mí dos inconvenientes mayores:

— una contaminación siempre posible de la matriz de ADN del sujeto con ADN proveniente del manipulador o del medio externo;

— una duración demasiado prolongada de análisis.

La utilización de chips con el ADN eliminará los inconvenientes que acabamos de citar. Sirven para identificar la presencia y la expresión de los genes en cualquier muestra biológica: sangre, saliva, orina, etc. Se trata de laminillas de vidrio de unos centímetros o milímetros cuadrados con minúsculas cavidades que forman depósitos.

Se colocan las muestras de ADN amplificado por la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) (multiplicada en miles de ejemplares) y que se desea identificar. Gracias a un tratamiento microscópico e informático, el chip con ADN es capaz de reconocer a continuación la presencia del gene en la muestra. Las partículas de ADN de este último están desnaturalizadas, de suerte que se depositan en el chip en forma de simples partículas, que buscarán espontáneamente su partícula complementaria en las cavidades. Una lectura con láser permite al técnico controlar la fluorescencia emitida por las reacciones moleculares, por ende de certificar la presencia de tal o cual gene, gracias a complejos programas de lectura de imágenes y de bioinformática. Así, existen ya en el mercado chips capaces de identificar miles de genes diferentes sobre una superficie de unos pocos milímetros cuadrados.

En el plano práctico, la obtención de resultados es mucho más rá-

Copyrighted material

pida: menos de media hora con los chips, en tanto que con los métodos tradicionales actualmente utilizados varias horas son necesarias.

No cabe la menor duda de que el empleo de chips se generalizará en el futuro para los análisis de ADN en la escena del crimen.

Por lo demás, los chips de laboratorio que se están comercializando actualmente también están en plena evolución, en torno a dos vertientes: el alto costo y el diagnóstico.

Los mercados son muchos y conocidos. El del bioterrorismo ha llamado mi atención ya que permite una detección rápida de agentes infecciosos, como el bacilo del carbón o el virus de la viruela.

Ante semejante miniaturización (nanotecnología), hay quienes aventuran la comparación con la invención del circuito integrado, que hizo caber una sala de cálculo de los años sesenta en una sencilla calculadora.

Los análisis por activación

Hasta hoy los especialistas en policía técnica y científica han realizado análisis sobre todo por activación neutrónica en el campo de las pinturas o para descubrir rastros de elementos metálicos o anfotéricos: plomo, cobre, bario, antimonio, mercurio, en las manos de un tirador.

Estas técnicas se emplean también en documentos, para revelar lavados, correcciones o falsificaciones diversas. En este último caso la técnica por activación se ha abandonado para dar lugar a otros métodos menos pesados que utilizan emisiones electromagnéticas.

En Estados Unidos, los criminalistas afirman que con este método pueden determinar la cantidad de arsénico contenida en el cabello o las uñas como prueba de envenenamiento delictivo e identificar el origen de un simple cabello comparando con cabellos tomados de la cabeza de un sospechoso. En caso de confirmación, el buen viejo método de espectrofotometría de absorción atómica será definitivamente abandonado.

La criminalística nuclear

El tráfico ilícito de materiales nucleares y los consiguientes problemas ecológicos han dado nacimiento a una nueva disciplina: la criminalística nuclear.

Copyrighted material

Ésta consiste en refinar técnicas para mejorar la coordinación entre los métodos básicos de la criminalística y las necesidades específicas del científico nuclear. Se ha puesto el acento en reforzar la colaboración con los servicios de policía científica con el fin de preservar, en la medida de lo posible, la cadena tradicional de pruebas dentro de los límites impuestos por las emisiones radiactivas y la contaminación.

A título de ejemplo, una partícula radiactiva llamada "zona peligrosa", más o menos de 1 mm, encontrada en una playa próxima a la instalación nuclear de Dounreay (Escocia), proveniente de una salpicadura accidental que se produjo hace varios años, fue identificada por medio de la microscopía electrónica de barrido, que mostró una imagen compuesta de la repartición de los elementos radiactivos en la partícula (matriz aluminio-uranio).

La búsqueda de cadáveres sepultados

Es posible que un radar de auscultación geológica concebido para misiones de índole civil permita en el futuro encontrar cadáveres desaparecidos.

Este material sirve actualmente para tratar de recuperar osamentas o cuerpos enterrados en diversos casos muy sonados en los medios, como el caso Doutroux en Bélgica o el caso Fred West en Gran Bretaña.

Según los geólogos, este procedimiento es aleatorio, pues, por ejemplo, un suelo húmedo arcilloso que ha sido labrado frena las ondas de radio. Además, en grandes superficies el radar no distingue entre un hueso y una rama. No obstante, este aparato permitió descubrir un cadáver disimulado debajo de una plancha de hormigón. Constructores de este tipo de material van a impulsar investigaciones para producir un aparato más apto. Ello no obsta para que su costo de uso siga siendo muy alto, unos cuatro mil euros al día.

Oficina central de personas desaparecidas

Un nuevo servicio administrativo acaba de ver la luz por decreto del 3 de mayo de 2002 (*JO*, 4 de mayo de 2002): "la oficina central encargada de las desapariciones preocupantes de personas". Su objetivo es centralizar todos los datos y las informaciones relativas a las personas

Copyrighted material

desaparecidas y después coordinar las diferentes indagaciones e investigaciones.

Esta oficina central está incorporada al ministerio del Interior, pero asocia a sus tareas los servicios del ministerio de la Defensa y de la Dirección Central de la Seguridad Pública. La finalidad es, en realidad, centralizar las investigaciones no solamente en el plano nacional sino también con otros países, signatarios junto con Francia de los acuerdos de cooperación internacional. Ésta es la razón de que dicha oficina constituya, para Francia, un punto de centralización de todos los intercambios internacionales relacionados con este tipo de asuntos.

El detector de mentiras se moderniza

El polígrafo anglosajón recibe el nombre espectacular de "detector de mentiras", cuando lo que hace en realidad es una prueba de veracidad. En su versión clásica, estos aparatos utilizan toda una serie de captores para evaluar y registrar la emotividad del sujeto.

Los elementos que se toman en cuenta, la respiración, el ritmo cardiaco y el reflejo llamado galvánico, son hoy completamente insuficientes. Los polígrafos modernos contienen electrodos digitales para registrar el sudor, parámetro especialmente discriminante.

Existen, efectivamente, dos clases de glándulas sudoríparas: las apocrinas, que intervienen en el proceso de termorregulación, y las ecrinas, situadas principalmente en la palma de las manos y la planta de los pies, que se activan en caso de emoción. Son, pues, un factor preferente en este tipo de estudio.

Existen dos métodos para cuantificar la actividad de las glándulas ecrinas: uno consiste en medir la producción de gotitas de sudor cuando salen de los orificios sudoríparos, ya que el volumen es directamente proporcional a la actividad glandular; el otro consiste en la medida de la actividad electrodermal por conductancia que resulta del principio de que una microcorriente que pasa a la superficie de la piel está en relación directa con la producción de sudor.

Cabe recordar que los países de la *Common Law* (Gran Bretaña, India, Canadá, Estados Unidos, sobre todo) utilizan el polígrafo porque su sistema judicial descansa en un procedimiento acusatorio. Es tarea del acusador aportar la prueba de las acusaciones que ha presentado, mientras que en Francia el proceso es indagatorio: toca al acusado probar que no cometió los actos de que se le acusa. El pro-

Copyrighted material

ceso indagatorio es, por ende, incompatible con la utilización de métodos artificiales que puedan conducir a confesiones, ya se trate del detector de mentiras (polígrafo), del narcoanálisis (suero de la verdad) o de la hipnosis.

ALAIN BUQUET

Copyrighted material

INTRODUCCIÓN

La noción de prueba está íntimamente ligada a la de criminalística.

La policía y la justicia buscan establecer la verdad por todos los medios de prueba a su alcance. En todas las épocas, este problema de la administración de la prueba fue el principio rector de las legislaciones, y será a partir de la prueba científica como la justicia podrá definirse acerca de la culpabilidad de un sospechoso. En consecuencia, la convicción que lleve a la decisión debe ser el desarrollo crítico de un examen total de los hechos. La imprecisión, la fragilidad y la relatividad del testimonio humano, ampliamente demostradas en los anales judiciales, condujeron progresivamente a la justicia a adoptar testimonios más objetivos, tales como las pruebas indiciales, que —como decía Locard[1] cuando aludía a los indicios— "si bien no dicen toda la verdad, eso es todo lo que dicen".

La identificación de los indicios materiales de los hechos es el objeto de la criminalística, definida como el arte y la ciencia de descubrir, analizar e identificar tales indicios. Demuestra, establece la verdad de una cosa o de un hecho, y debe ser convincente, evidente y formal. La justicia procederá a la identificación del autor de un delito o un crimen precisamente a través de esa demostración.

Para un espíritu moderno, la búsqueda de la prueba no puede abstenerse de la ciencia; en tal sentido, la criminalística apela ampliamente a las técnicas y métodos de las ciencias experimentales y aplicadas. Multidisciplinaria por esencia, esta multiplicación de las ciencias y técnicas impone una gran especialización que permita circunscribir problemas cada vez más complejos, que se inscriben en un marco definido y específico, como, por ejemplo: la antropometría, la dactiloscopia, la informática, la balística, la toxicología, la

[1] Edmond Locard es considerado por sus pares como el creador de la criminalística moderna. Fue él quien preconizó en Francia, desde comienzos del siglo XX, la utilización de las huellas digitales para la identificación de los malhechores, y quien impuso la dactiloscopia utilizando trabajos anteriores de la cátedra médico-legal de Lyon (tesis de Frecon y Forgeot). Este médico lionés, también jurista, en 1910 funda el primer laboratorio de investigaciones criminales en Lyon.

Copyrighted material

identificación de las manchas, rastros y huellas diversas..., etcétera. Así, cada experto judicial, inscrito en la lista nacional establecida por la Corte de Casación o en una de las listas estipuladas por las cortes de apelación, está en la obligación de poseer un arsenal de materiales y procedimientos técnicos y científicos muy diversificado: la tercerización de los trabajos corrientes está prohibida por razones evidentes que incumben al secreto. Cuando se trata de una persona moral (laboratorio), además de la obligación de los medios, la puesta en marcha de los métodos debe ser efectuada por un personal altamente calificado formado en dichas técnicas, y sometido al consentimiento de la jurisdicción (artículo 157-1 del CPP[*]). Por último, una persona física no inscrita obligatoriamente debe prestar juramento (artículo 160, al. 2 del CPP).

El método de trabajo se apoya en dos principios generales, la búsqueda de la similitud, que apunta a establecer la identidad, y el estudio probabilístico, que procura la certeza. Con el rigor fáctico y los progresos de la policía científica, hoy la confesión es acaso menos esencial que hace veinte años.

Como el error es la obsesión del experto, éste procederá a realizar verificaciones con varias técnicas destinadas a evitarlo, cada vez que esto sea posible.

La fuerza de la prueba en criminalística reside en el hecho de que ella demuestra, pero también en que es intrínseca, porque su base es la índole del hecho o de la cosa, el lugar, el tiempo, el testigo, los indicios, etcétera. Habiendo comenzado por ser empírica, la prueba se vuelve racional, ya que la verdad científica exige la certidumbre, cuando con mucha frecuencia la verdad jurídica sólo pretende la verosimilitud. La prueba técnica y científica se refiere a protocolos de observación, que implican medidas, cada vez que ello sea posible.

Así, una hipótesis cuyas consecuencias son confirmadas por la experiencia es admisible, y una hipótesis cuyas consecuencias son invalidadas por la experiencia es inadmisible. Por tanto, la prueba experimental es un factor de progreso en la medida en que opera una selección entre las hipótesis en presencia.

Cualesquiera que sean las contingencias, el perito interviene en la investigación penal como auxiliar del juez. Le brinda una ayuda intelectual para esclarecerlo sobre problemas técnicos cuya solución es indispensable para la manifestación de la verdad.

[*] Todos los artículos mencionados remiten al código de procedimientos francés. [T.]

Copyrighted material

Debe conducirse como un testigo que posee los conocimientos requeridos con honestidad, vale decir, con imparcialidad, a través de una sumisión constante a los hechos que le permitan orientar de manera útil al magistrado o a la jurisdicción judicial sobre quién lo cometió, y que conserve la libertad de apreciar el alcance de las conclusiones del informe y forjarse una convicción íntima. El pasaje de la prueba indicial a la demostración de la culpabilidad sólo puede ser garantizado por la interferencia con ella de las pruebas testimoniales y circunstanciales recogidas por la policía judicial.

No es menos cierto que, en el plano de la responsabilidad en materia civil, la jurisprudencia de la Corte de Casación no confluye con el análisis del Consejo de Estado. En efecto, dos tesis se encuentran en presencia:

— la del perito colaborador del servicio público de la justicia: es la tesis publicista;
— la del perito responsable, según las reglas de derecho común, de los artículos 1 382 y 1 383 del Código Civil: es la tesis privatista consagrada por la Corte de casación.

Por último, la nueva ley número 2 000-516 del 15 de junio de 2000 sobre la presunción de inocencia aplicada desde el 1 de enero de 2001 no hace sino reforzar la prueba material mediante el peritaje técnico y también científico, con la desaparición de la confesión y el derecho para los acusados de permanecer en silencio durante la indagatoria.

Antes de cerrar esta introducción, quiero rendir homenaje al señor profesor P. F. Ceccaldi, que, a lo largo de treinta años, fue director del Laboratorio de la identidad judicial de la prefectura de policía de París. De manera dual,[2] juntos tratamos una gran cantidad de casos, algunos de los cuales eran procedimientos criminales de envergadura. Esta colaboración a lo largo de quince años me dejó grandes enseñanzas. Quiero expresar aquí el testimonio de mi sincero reco-

[2] Hasta 1985, la ley en lo penal preveía el principio de dualidad: o sea, la designación de dos peritos encargados de realizar de manera conjunta las misiones ordenadas por los magistrados instructores o las jurisdicciones judiciales. La ley núm. 51 407 del 30 de diciembre de 1985, aplicada a partir del 1 de febrero de 1986, modificó el artículo 159 del Código de Procedimiento Penal que, como regla habitual, prevé la designación de un perito único.

Copyrighted material

nocimiento y mi profunda gratitud por su ayuda y sus numerosos e iluminados consejos.

Este preámbulo sobre la prueba en criminalística sirve de introducción al vasto tema desarrollado en un plano que pretende ser esencialmente técnico y científico. Sin embargo, de entrada, parece interesante referirme a algunos casos que entran en el marco de la criminalidad internacional y que llegaron a buen puerto gracias a la utilización de métodos particulares de investigación científica de la prueba indicial, adaptados a los casos especiales de informaciones judiciales escogidas.

Sin lugar a dudas, los casos evocados ya fueron definitivamente juzgados, las vías de recursos fueron agotadas o han prescrito, y por tanto ya no están cubiertos por el secreto y forman parte de la historia judicial.

Copyrighted material

1. ALGUNOS CASOS ESCLARECIDOS GRACIAS A LA CRIMINALÍSTICA

1. TERRORISMO INTERNACIONAL "ACCIÓN DIRECTA"

Entre 1979 y 1986, el grupo terrorista Acción Directa reivindicó alrededor de 66 atentados.

El primero —ametrallamiento del CNPF— se remonta al 1 de mayo de 1979, y el último —asesinato del señor Georges Besse— al 17 de noviembre de 1986.

Durante este periodo, las actividades de este grupúsculo fueron cada vez de mayor envergadura. En su origen, los miembros de la organización clandestina eran simples ponebombas vacilantes y en ocasiones torpes, pero con el correr de los años, a partir de comienzos de 1985, se convierten en asesinos. Su primera víctima: el ingeniero general de 1ª clase René Audran, director de Relaciones internacionales en el ministerio de Defensa. Lo acribillan de varios proyectiles de arma de fuego frente a su domicilio de La Celle-Saint-Cloud, a la vista de su hija, el 25 de enero, a eso de las ocho y media de la noche. Luego vienen las tentativas de homicidio por arma de fuego contra el inspector general del ejército Henri Blandin (26 de junio de 1985), en París, y contra el vicepresidente del CNPF, Guy Brana, y su chofer en Vésinet, el 14 de abril de 1986, y por último el asesinato de Georges Besse, CEO de la fábrica Renault desde enero de 1985. A partir de fines de 1985 y principios de 1986, la determinación de estos terroristas fue todavía mayor: citemos el ametrallamiento y atentado con explosivos a la sede de la Interpol que, en esa época, estaba situada en el 26 de la calle Armangeaud en Saint-Cloud.

La larga escalada culmina el sábado 21 de febrero de 1987 en el "aguantadero" del movimiento, una granja situada en Vitry-aux-Loges, pequeño pueblo de la periferia de Orleans. Como resultado de diversos informes serios, concordantes y coincidentes, de tres servicios de policía desde varias semanas atrás, se da la señal de asalto a la granja a las 20:50 horas por la autoridad a cargo. En cinco minutos, los cuatro jefes históricos de la organización: Jean-Marc Rouillan, Nathalie Menigon, Joëlle Aubron y Georges Cipriani, son interceptados y neutraliza-

Copyrighted material

dos por los hombres del RAID, que explotaron a fondo el efecto sorpresa para evitar una matanza, ya que los miembros de Acción Directa estaban poderosamente armados. La operación policial es un éxito total: ni una sola víctima en ninguno de los dos campos. Hay que destacar que el dispositivo desplegado era apabullante: tres servicios de policía, perros de presa, helicópteros, etcétera. Inmediatamente después del arresto comienza la búsqueda; que será larga, ya que culminará el domingo 22 de febrero, cerca del mediodía, cuando varios magistrados instructores de la 14ª sección del ministerio público encargado del asunto terrorismo llegan al lugar. La investigación será de lo más fructífera, porque la granja de Sologne de Vitry-aux-Loges es de hecho el centro operativo de la organización. El arsenal descubierto es impresionante, y comprende once armas: tres de repetición, un fusil de asalto Fal, una pistola ametralladora Vigneron y una ametralladora Sten; dos revólveres Smith y Wesson (357 y 38 especial); seis pistolas automáticas, entre ellas 3 colts 45, calibre 11.43 mm, un GP 35 mm Sig Sauer (calibre 9 mm) y un Herstal (calibre 7.65 mm), una decena de cajas de municiones. A lo que se añade un lote de explosivos en barra, un centenar de detonadores (Davey-Bickford) y varios centenares de metros de cuerdas detonadoras, contactos de tiempo y un manual técnico para tender trampas de explosivos para vehículos.

Los peritajes balísticos efectuados a pedido de Jean-Claude Willemin, magistrado instructor de los casos Audran, Besse, Brana y Blandin por los ingenieros del laboratorio del muelle del Horloge fueron llevados a cabo con rapidez. De las once armas capturadas, siete fueron empleadas en homicidios o estuvieron a punto de hacerlo. El fusil de asalto Fal de calibre 5.62 mm fue utilizado contra Guy Brana y el señor Fernández, su chofer, herido con dos balas. La pistola ametralladora Vigneron se utilizó contra el inspector general Blandin, situación en la que únicamente su auto recibió impactos, pero también en el atentado contra Brana. El revólver Smith y Wesson 38 especial ultimó a Georges Besse, y la pistola GP 35 también fue empleada durante el tiroteo. Por último, la pistola Sig Sauer se utilizó en la tentativa de asesinato de Henri Blandin.

La tarea de los técnicos de balística no fue fácil, pero el estudio de las balas en el microscopio comparador, de las vainas (impacto del percutor) y el de las huellas de la extracción de la culata y el eyector permitieron una identificación rápida a pesar del maquillaje clásico.

En efecto, basta con pasar tres o cuatro veces un papel de lija grueso por un cañón para falsear esas rayaduras capitales y modificar la fir-

Copyrighted material

ma de un arma. Luego, como lo hacía Mesrine, también puede darse un limazo sobre el percutor, complicando sobremanera de ese modo la identificación de las vainas. Por último, solución radical, puede cambiarse o el cañón o el cuerpo del arma culpable. Precisamente, fue esta última estratagema la que utilizó Acción Directa para el asesinato de Georges Besse, utilizando la pistola GP 35 cuyo cañón, luego de ser utilizado, volvió a instalarse en el cuerpo de un arma neutra.

Lo más extraordinario fue el descubrimiento de una enorme masa de documentos que incluyen una gran parte de los archivos y planes futuros del movimiento, así como de los materiales que sirvieron para su elaboración (fotocopiadora, varias máquinas de escribir, planchas de letras de transferencia del tipo Letraset, sobres "crudos", el logotipo original, constituido por una estrella de cinco puntas, etcétera). Del estudio de los documentos surge que la "banda de los cuatro" tenía múltiples intereses y había constituido numerosos legajos sobre personalidades políticas, patronales o de lo más granado de París, libretas de direcciones, falsificaciones de todo tipo (documentos de identidad, tarjetas de ministerio, fichas de estado civil, etcétera), documentos técnicos sobre los explosivos y dispositivos de encendido, las matrices originales de las reivindicaciones enviadas a los medios, sobre todo la reivindicación del asesinato de Georges Besse.

Gran parte de los documentos incautados fue objeto de varias misiones de peritaje sumamente abarcativas. Era un verdadero trabajo de titanes en un plazo corto en el que cada documento fue identificado en el plano dactilográfico, reprográfico, soporte de papel, confección de los sobres, fabricación de documentos falsos,[1] etcétera.

Para cada caso se estableció un cuadro sinóptico que establecía la comunidad de origen de las cartas reivindicatorias a partir de elementos distintos. Fue así como resultó posible empalmar entre sí 25 textos de reivindicaciones de atentados entre la dirigida a la AFP refe-

[1] A comienzos de 1981 se descubrió la oficina clandestina de fabricación de documentos falsos de Acción Directa (caso Delgado y otros). En septiembre del mismo año, un colegio de tres peritos es designado para examinar el conjunto de los 250 sellos (falsificaciones integrales, sellos y tampones, documentos de ejecución, los materiales utilizados por los falsarios). A título informativo, en esa época fue el mayor caso en volumen jamás tratado por la policía judicial parisina. Los falsarios habían apelado a numerosas técnicas sofisticadas de impresión y realización de falsos soportes administrativos y otros, de todo tipo, referentes no sólo a Francia sino también a muchos países limítrofes (Bélgica, Alemania, Suiza, Italia, España, Portugal). Lo que confirma, a las claras, la índole internacional de la organización.

Copyrighted material

rente al atentado contra el Instituto Atlántico de relaciones internacionales, el 12 de julio de 1984, y el texto de reivindicación del asesinato de Georges Besse, el 17 de noviembre de 1986.

También se encontraron ciertos documentos que habían sido fabricados por la oficina descubierta en 1981 y cuyo peritaje había durado ocho meses.

Para la historia menuda señalemos que, durante las investigaciones, los servicios de policía utilizaron la fotocopiadora Canon PC 25 y varias máquinas de escribir para las necesidades del procedimiento.

Cuando estos materiales llegaron a manos de los peritos, los cartuchos negro, rojo, verde y azul marino de la fotocopiadora estaban prácticamente vacíos. Una observación análoga puede formularse por lo que respecta a las cintas de los casetes que equipan a algunas de las máquinas de escribir. Poco faltó para que la identificación resultara imposible, lo cual habría sido muy perjudicial, sabiendo que es rarísimo que los terroristas confiesen, y, en el caso de Acción Directa, sus miembros conservaban una mudez absoluta durante los interrogatorios, tras haber indicado que no tenían nada que declarar. Esta estrategia defensiva se prolongó en cada caso durante las diversas audiencias de la Sala en lo Criminal especial, que se desarrollaron ante una jaula de acusados vacía. En 1994, los miembros de la organización son condenados a reclusión perpetua más un periodo de seguridad de dieciocho años, en particular por el asesinato del general Audran en 1985 y el ex CEO de Renault, Georges Besse, algunos meses más tarde.

2. LA "OPERACIÓN URUGUAY", BRASIL

Durante las elecciones presidenciales de Brasil en 1989, Fernando Collor de Mello, candidato de la derecha populista, es elegido el 17 de diciembre en la segunda vuelta con el 53 por ciento de los votos contra el 47 por ciento para Luiz Ignacio Da Silva. Algunos días después de su entrada en funciones, el 16 de marzo de 1990, el presidente anuncia un muy severo plan antiinflacionario: sobre todo, bloqueo de los haberes en las cuentas bancarias, lo que provoca una caída brutal de la actividad del país.

A comienzos de mayo, el presidente pone en marcha un plan de reducción de los gastos estatales que prevé el despido del 20 al 25 por ciento de los 1.6 millones de funcionarios y la privatización de las em-

Copyrighted material

presas públicas "no estratégicas", vale decir, que pone fin a cuatro decenios de proteccionismo industrial. El 3 de octubre de 1990, las elecciones regionales y federales, marcadas por una fuerte tasa de abstención, son favorables a los candidatos que apoyan a Collor, pero la segunda vuelta de las elecciones de gobernadores del 25 de noviembre constituye un revés inesperado y serio para el presidente. A partir de fines de 1990 la atmósfera general de Brasil se degrada, para conducir a una previsible caída del jefe de estado. Tras el fracaso de sus dos planes precedentes de estabilización económica, el poder propone un nuevo gran proyecto de reconstrucción nacional. Sin embargo, el 5 de abril de 1991, el tribunal federal de San Pablo establece la inconstitucionalidad del congelamiento de los haberes brasileños. El 8 de mayo, golpe teatral, la ministro de Economía, señora Zelia Cardoso, dimite, arrastrando a varios otros miembros del equipo gubernamental. A lo largo de 1992, la aceleración de los casos es rápida: en efecto, durante enero, dimisión en cascada del ministro de Trabajo y el secretario de estado de Acción Social, el ministro a cargo de la Integración Económica y, por último, del ministro de Salud, acusado de corrupción: la situación económica de Brasil es catastrófica, la deuda externa más importante del Tercer Mundo se eleva a 122 mil doscientos millones de dólares. El FMI concede una ayuda de 2.1 millones de dólares para evitar la bancarrota.

En el mes de marzo de 1992, el presidente Collor obtiene la dimisión colectiva de su gabinete, para proceder a una reconstrucción ministerial.

El 24 de mayo hace saber que va a perseguir ante la justicia a su hermano Pedro, quien lo acusa públicamente de haber cobrado millones de dólares realizando negocios ilícitos y de haber consumido cocaína a los 25 años. El caso de familia se convierte en un caso de estado. Se constituye una comisión de investigación parlamentaria. El 3 de agosto de 1992, el ministro de Educación presenta su dimisión, aduciendo que el gobierno en funciones está más preocupado por su propia supervivencia que por el destino del país.

En el mes de agosto, el doctor Roberto Delmanto, abogado de Claudio Francisco Vieira, secretario de la presidencia, toma contacto telefónico para proceder al estudio de varios documentos que diferentes peritos brasileños consideran polémicos, y anuncia su próxima llegada a París. El 24 de agosto de 1992, la Comisión de investigación parlamentaria publica un informe abrumador que desmonta una gigantesca red de reciclaje de fondos secretos de la que hicieron uso el

Copyrighted material

presidente Collor y su entorno. La destitución del jefe de estado está en marcha.

A comienzos de septiembre, el doctor Delmanto, abogado de Vieira, me hace llegar diferentes fotocopias color para que pueda ponerme a trabajar. Por otra parte, fijamos una entrevista en París para entregarme en propias manos los originales, que conservaré varios días para que las investigaciones puedan desarrollarse sin precipitación y proceder yo a exámenes técnicos y científicos no destructivos, o sea, sin perjudicar de ningún modo los documentos, ya que no estoy autorizado a efectuar ninguna remoción.

El 29 de septiembre de 1992, la Asamblea nacional vota la destitución del presidente Collor por una enorme mayoría: 441 votos sobre 503. Por consiguiente, es suspendido en sus funciones a partir del 2 de octubre; el vicepresidente, Itamar Franco, se convierte entonces en presidente de hecho. Los senadores, a su vez, van a pronunciarse sobre las acusaciones de corrupción que se hallan en el origen de esta cuestión. El 12 de noviembre se acusa a Collor de corrupción pasiva y de ser el jefe de una asociación ilícita, y es sospechado por desvíos de fondos por un monto de 55 millones de dólares.

Una de las bases de la acusación descansa en el hecho de que un contrato de crédito por un monto de 5 millones de dólares, firmado entre Vieira y la empresa uruguaya Alfa Trading S.A. para financiar la campaña presidencial, es una falsificación o, en el mejor de los casos, que la fecha del documento no corresponde a la realidad, de donde procede el nombre de "operación Uruguay".

Con este documento también me fueron comunicadas dos órdenes de pago por 5 millones de dólares cada una y un acta notarial referente a la legalización de la firma del presidente de la empresa prestamista.

En consecuencia, la misión que se confía al doctor Delmanto resultaba delicada, porque de hecho se trataba de un problema de datación. Desde la inculpación del presidente, el abogado penalista era no sólo el abogado de Vieira, secretario de la Presidencia, sino que también estaba encargado de defender los intereses de Collor.

El 30 de noviembre de 1992 realicé un informe completo y fundamentado que permitía inferir que los documentos examinados eran auténticos. El contrato de crédito era una producción informática de una impresora Epson modelo LX 800, que se comercializaba antes de 1989. Asimismo, las firmas correspondían a los especímenes de referencia y de la misma época, etcétera.

Copyrighted material

Por tanto, de las verificaciones dactilográficas, técnicas, materiales y gráficas, resultaba que la fecha que figuraba en los documentos examinados correspondía a la realidad, o sea, el 16 de enero de 1989.

El 4 de diciembre de 1992, el informe era presentado a la prensa en un hotel de San Pablo, como lo exige la ley brasileña.

El 30 de diciembre, el Senado reconoce al presidente culpable de corrupción por haber tolerado y haberse beneficiado de una red de tráfico de influencias que mancillaba la dignidad de su cargo. El ex jefe de estado fue condenado *sine die* a la suspensión de sus derechos civiles durante ocho años.

Sus abogados, y sobre todo el doctor Delmanto, no se quedan de brazos cruzados en la defensa de sus clientes. Con el objeto de ser peritados, me someterán otros documentos, que serán objeto de dos informes complementarios fechados respectivamente el 23 de junio y el 6 de septiembre de 1993, y cuyas conclusiones eran favorables a Collor.

El 30 de diciembre de 1993 me presento para una audiencia ante el decano de los jueces de instrucción del tribunal de justicia de Évry, por comisión rogatoria internacional. Esta audiencia se refiere exclusivamente a mi informe del 30 de noviembre de 1992, cuyas conclusiones confirmé y desarrollé oralmente.

Pese al carácter alternativamente dramático y vodevilesco del procedimiento de destitución desencadenado contra el presidente Collor, éste llegará a buen puerto el 12 de diciembre de 1994.

Algunos meses más tarde el doctor Delmanto me dirigió una carta, cuyo contenido es el siguiente:

Estimado doctor, tengo el honor de confirmarle, por la presente, que mi cliente Claudio Francisco Vieira, ex secretario de la presidencia de la República de Brasil, fue sobreseído por unanimidad de todas las acusaciones que se le habían hecho ante la Corte Suprema Federal de Brasilia. Su magnífica opinión grafológica y técnica sobre la llamada "operación Uruguay", préstamo contraído antes del ejercicio presidencial para financiar la campaña y cuyo excedente fue gastado por el señor Collor durante su mandato, fue de una importancia primordial para el feliz desenlace del proceso. Tanto el ministro informante como el revisor mencionaron expresamente su opinión, su excelente currículum de actividades profesionales, así como el hecho según el cual la acusación no logró producir ninguna prueba en contrario. Su trabajo también fue de una importancia fundamental para el sobreseimiento del ex presidente Collor, por cinco votos a favor y tres en contra, de la acu-

Copyrighted material

sación de corrupción pasiva. Nosotros, mi cliente y yo, le agradecemos profundamente su formidable opinión, de la que siempre le estaremos agradecidos. Firmado Roberto Delmanto, Advocadia criminal.

Para ser exhaustivos, señalemos que el industrial Paulo César Farías, ex tesorero de la campaña presidencial, también fue sobreseído; en cuanto a Fernando Collor, el 29 de diciembre de 2000 recuperó sus derechos políticos, por lo que pudo haber sido candidato en las elecciones presidenciales de 2002.

3. EL "ROBO DEL TÍO BONACHÓN", FRANCIA

Hipólito Fernández Villanueva, un tío bonachón español, emigra a Francia en los años sesenta. Empleado por una empresa de Marsella como experto en montaje de calefacción central, recorre toda Francia de obra en obra, en caravana con su familia. Luego de algunos años se establece en la región parisina y manda construir a crédito una casa en el Loiret. Pero en 1975 sobreviene la desocupación.

A los cincuenta años no encuentra trabajo, y las letras de cambio de la casa se acumulan. Para colmo de desgracias, su yerno se halla en la misma situación. Los dos, habiendo agotado todos sus recursos, encuentran una solución para sus problemas financieros. Comienzan por atracar al cartero, luego desvalijan oficinas de correos, farmacias, recaudaciones y, por último, agencias bancarias.

Para salvar las apariencias ante sus parientes, pretenden haber encontrado un trabajo y cada fin de mes traen una paga ficticia. Incluso, Hipólito y su yerno se van temprano de mañana para parodiar la salida al trabajo.

Luego de cinco años, los dos son detenidos bajo el cargo de haber cometido cincuenta y tres robos en el Essone, Loiret y los Hauts-de-Seine. Ambos hombres reconocen sus fechorías, que les produjeron cerca de 1 250 000 francos, y el 15 de octubre de 1985 se los condena a diez años de reclusión criminal.

Pero el 30 de agosto de 1977, en horas del mediodía, dos turistas alemanes penetran en una pequeña agencia de la Sociedad general de Courtenay. Se quedan totalmente asombrados de no encontrar a ningún empleado. Inquietos, inspeccionan el local y descubren el cuerpo del cajero. A su lado, una vaina de revólver da fe de lo que su-

Copyrighted material

cedió algunos minutos antes. No hay ningún testigo, salvo el objetivo de la cámara de vigilancia, que se pone en marcha automáticamente al abrirse la caja. En esa época, las cámaras estaban equipadas exclusivamente con un film de plata que, al ser revelado, no aportó muchos elementos de identificación. Se ve una mano que rompe los precintos plásticos que envuelven los fajos de billetes, así como la silueta de un hombre solo, que lleva una gorra y anteojos de sol. El film es de mala calidad, las imágenes carecen de nitidez y en ocasiones son vagas. La cara del individuo, de contornos inciertos apenas destacados, no dice absolutamente nada a los investigadores, y en 1980 el juez de instrucción dicta un auto de sobreseimiento. Algún tiempo más tarde, sin embargo, el caso vuelve a ponerse sobre el tapete. Durante una requisa en el domicilio de los dos hombres se encuentran unas armas, entre ellas una pistola Brownig Herstal, calibre 22 LR, la misma marca y tipo que el arma utilizada para el homicidio del cajero, el 3 de agosto de 1977. Sin embargo Fernández, que no tuvo problemas en confesar la serie de ataques a mano armada, niega airadamente. Los peritajes balísticos apoyan la acusación: la vaina recuperada en Courtenay habría sido disparada con el arma encontrada en casa de Hipólito. El juez de instrucción, Jean-François Dessagne, decide utilizar los films de la cámara. Un primer peritaje es confiado el 17 de enero de 1983 al profesor P. F. Ceccaldi, director del Laboratorio de identidad judicial de París, cuyas conclusiones parecerían "por un lado excluir a Henri Madrières, el yerno, y por el otro que no sería imposible que se tratara de Hipólito Fernández, pero que tampoco nada lo prueba".

Como el magistrado instructor no está satisfecho de la imprecisión de las conclusiones del informe de la identidad judicial, nos confía una segunda misión el 31 de agosto de 1984. Las fotos antropométricas de Fernández, tomadas en el momento de su arresto, no tienen valor. Por otra parte, como durante la reconstrucción de los hechos el acusado se rehusó a dejarse filmar en la agencia de Courtenay, hacemos una sesión de tomas del acusado Fernández en el despacho del magistrado, reconstruyendo los elementos de la escena del robo. Se fotografía al reo en picado y en las mismas condiciones, gorra en la cabeza, anteojos sobre la nariz y arma en la mano. A partir de esos elementos, aquí es donde comienza la habilidad fotográfica.

En la misma escala gráfica de los negativos sacamos tantas copias como cuadros tenía la cámara de vigilancia. Las superposiciones fotográficas se realizan al milímetro. Luego procedemos a la mezcla de

Copyrighted material

imágenes haciendo coincidir los dos negativos, el de la fotografía problema y el de la fotografía de comparación, que son ampliadas y colocadas en contacto con un papel bromuro. Logramos una fotografía compuesta por la mezcla de los dos negativos superpuestos. Jugando con la densidad óptica de los negativos, ya sea en el momento de la toma (velocidad) o del revelado, se puede lograr la preponderancia de una imagen respecto de la otra. Además, las similitudes de estatura y fisionomía sobre las once superposiciones efectuadas, los rasgos de detalles morfológicos (emplazamiento de los ojos, implantación del cabello, hoyuelo) coinciden punto por punto. Por otra parte, un tratamiento fotográfico del arma utilizada en otros tres ataques a mano armada reconocidos por Fernández permite confirmar que se trata de una pistola Herstal. El 24 de junio de 1986, la Sala en lo Criminal de Essone lo condena a reclusión perpetua.

Copyrighted material

2. PRESENTACIÓN GENERAL: LAS DIFERENTES DENOMINACIONES EN EL MUNDO

Habitualmente, la criminología es considerada como la ciencia de las causas del crimen, pero, en la práctica, estudia el conjunto del fenómeno criminal. Es una ciencia que todavía está en sus comienzos, aunque data de fines del siglo XIX.

La criminología contemporánea no se limita ya al conocimiento de los factores del crimen, también se extiende al conjunto de las infracciones y delitos pasibles de sanciones penales.

Al respecto, se distinguen:

- la criminalidad perceptible: que comprende la totalidad de las infracciones llevadas a conocimiento de las autoridades de policía o de gendarmería;
- la criminalidad real: que está constituida por todas las infracciones cometidas en un instante determinado;
- la criminalidad legal: que está compuesta por el conjunto de las condenas penales dictadas por las jurisdicciones represivas de un país.

Según el sentido que puede adoptar la palabra "causa", se distinguen dos formas de criminología:

La criminología clínica

Los criminólogos clínicos consideran como causa el encadenamiento de las circunstancias que condujeron a los individuos a cometer delitos o crímenes cuyo grado de responsabilidad se quiere conocer para permitir la evaluación del perjuicio, o descubrir comportamientos que permitan sospechar un nuevo pasaje al acto con una predisposición o no por la recidiva. Naturalmente, este tipo de diagnóstico tiene importantes consecuencias desde el punto de vista judicial, sobre todo por lo que respecta a la orientación y seguimiento de los delincuentes, sean detenidos o no, así como su eventual tratamiento terapéutico o psiquiátrico.

Copyrighted material

La criminología general

Ésta descansa en una generalidad de observaciones que abarcan un amplio campo de acción y en una comparación estadística de poblaciones determinadas.[1] En el caso de este enfoque, la causa corresponde al comportamiento criminal respecto de la norma de la gente honesta.

La criminalística[2] se integra a la criminología, constituye una ciencia gemela muy diferente y complementaria al estudio doctrinario y se aplica al fenómeno llamado "crimen" tomado en el sentido amplio del término, vale decir, toda agresión dirigida contra valores morales o sociales legalmente definidos o penalmente protegidos.

1. LA CRIMINALÍSTICA FRANCESA

Sin duda alguna, el principal precursor de la criminalística en Francia es Edmond Locard, quien fue profesor adjunto y luego preparador y jefe de trabajos del famoso Alexandre Lacassagne. Tras haber servido como médico militar, dio una reputación internacional a la cátedra de medicina legal de la Universidad de Lyon y fundó los archivos de antropología criminal que aparecieron de 1886 a 1915. En 1910 creó el primer laboratorio francés de policía científica que aplicaba los métodos científicos a los problemas policiales. Locard establece un *principio* de "intercambio" basado en el hecho de que un individuo siempre deja huellas de su pasaje en el lugar, y recíprocamente, cuando se va, de la misma manera se lleva elementos a veces microscópicos del medio en que se encontraba, sobre su ropa, la piel, las suelas, etcétera. La exploración de todos esos indicios requiere habilidades pluridisciplinarias.

A partir de entonces, Locard va a encarar todas las cuestiones de criminalística. En 1929 funda la *Revue international de criminalistique* (Lyon, Editorial Desvignes). En el primer número, ubicándose bajo el patrocinio de sus ilustres predecesores Lacassagne, Bertillon, Gross y Reiss, enumera las diferentes investigaciones técnicas y científicas de la pesquisa criminal, que desarrolla en el magistral tratado de criminalística, en 7 volúmenes, publicado entre 1931 y 1940.

[1] Aquí, el término "población" es tomado en su sentido estadístico.

[2] La criminalística utiliza los conocimientos adquiridos o actuales de la ciencia.

Copyrighted material

En 1931 es elegido consejero técnico por la Comisión Internacional de Policía Criminal (CIPC), convertida luego en Oficina Internacional de Policía Criminal (OIPC), más conocida con el apelativo de su dirección telegráfica, Interpol.

El pensamiento y proyección de Edmond Locard también se expresaron al recibir como profesores adjuntos en su laboratorio a una enorme cantidad de científicos extranjeros que a su vez se hicieron conocidos, hasta famosos: Mathyer (Lausana), Carrel (Berna), Zaki (El Cairo), Söderman (Suecia) y muchos otros procedentes de otros continentes. En 1966, Jean-Hubert Nepote, secretario general de la OIPC —Interpol—, veía en Locard al precursor de la asistencia técnica, mucho antes de que las Naciones Unidas la convirtieran en su doctrina. En París, luego de Bertillon, Bayle y Sannié en 1957, el profesor adjunto de medicina legal P. F. Ceccaldi es nombrado jefe del servicio de la identidad judicial de París, quien especialmente tiene autoridad sobre el laboratorio de criminalística. Este investigador de alto nivel permanecerá en su puesto treinta años después de haberse acogido a la jubilación. En esa época existían en Francia cinco laboratorios interregionales de policía científica (París, Lyon, Marsella, Tolosa y Lille) que aportaron a la obra de la justicia la colaboración de técnicas de identificación diversas que permitían la formación de técnicos calificados y la puesta a punto de métodos nuevos, conjugando así trabajos de rutina y de investigación.

A comienzos de 1985 Pierre Joxe, ministro del Interior, se ocupa en la modernización de la dirección central de la policía judicial.

Por decreto del 8 de marzo de 1985 se crea una subdirección de la policía técnica y científica que agrupa todos los medios de que dispone la policía judicial en el nivel central, o sea: los cuatro servicios parisinos (BEO, SCIJ, SCTIJ, SCDD[3]); en el interregional, los cinco laboratorios de policía científica[4] de París, Lille, Lyon, Marsella y Tolosa; en el regional, las secciones técnicas de los SRPJ,[5] así como el laboratorio central de la prefectura de París y el laboratorio de toxicología del IML[6] de París; y por último, en el nivel local, las unidades avanza-

[3] BEO: Oficina de Estudios y Organización; SCIJ: Servicio Central de Identidad Judicial; SCTIJ: Servicio Central de Procesamiento de la Información Judicial; SCDD: Servicio Central de Documentación y Difusión.

[4] LIPS: Laboratorio Interregional de Policía Científica.

[5] SRPJ: Servicio Regional de Policía Judicial.

[6] IML: Instituto Médico-Legal.

Copyrighted material

das y puestos locales de identidad judicial que dependen de la policía judicial o la seguridad pública.

La ley de modernización de la policía nacional del 7 de agosto de 1985 programa de cinco a diez años los medios presupuestarios en hombres y materiales aptos para concretar la decisión de los poderes públicos. En septiembre de 1996, la policía técnica y científica es trasladada a Écully, en Lyon y sus suburbios.

Por otra parte, una reflexión que lleva a cabo la dirección de la gendarmería, durante 1985, pone de manifiesto el papel determinante de la policía científica en la investigación criminal.

El 1 de octubre de 1987 nace la Sección Técnica de Investigación Criminal de la Gendarmería (STICG), encargada de desarrollar las técnicas utilizadas corrientemente, con medios bastante modestos. En 1991 se toma la decisión de impulsar este servicio, que es bautizado Instituto de Investigación Criminal de la Gendarmería Nacional (IRCGN), que se instala en el alcázar de Rosny-sous-Bois.

Finalmente, por decreto número 92-294 del 25 de marzo de 1992, se crea el Consejo Superior de la Policía Técnica y Científica. Lo preside el ministro del Interior y publica un informe anual sobre la situación en Francia de la policía técnica y científica.

Dos años después se instala el Consejo Superior de la Medicina Legal, por decreto número 94-1210 del 30 de diciembre de 1994. Lo preside el director de asuntos criminales e indultos del ministerio de Justicia. Cada año examina las proposiciones elaboradas por el grupo de trabajo.

2. LAS CIENCIAS FORENSES ANGLOSAJONAS

La concepción de las ciencias forenses[7] por los anglosajones, que engloba casi todos los países del Common Law, difiere notablemente de la concepción francesa de la criminalística.

[7] Contrariamente a lo que afirman algunos autores, el neologismo técnico *sciences forensiques* es poco y nada utilizado en Francia, por la sencilla razón de que los textos oficiales sólo hacen mención a la expresión *police technique et scientifique* [policía técnica y científica, T.] (PTS). En cambio, es de uso corriente en los países del Common Law, particularmente Gran Bretaña y los Estados Unidos, mientras que los canadienses hablan de *sciences judiciaires* [ciencias judiciales, T.]. Los países germánicos utilizan la palabra *Kriminaltechnik*, cuya traducción francesa es *police technique* [policía técnica, T.].

Copyrighted material

Como en la ficción de las novelas policiales de Conan Doyle, los anglosajones siempre prefirieron al detective privado, hasta aficionado, sobre los funcionarios de policía franceses. Tal vez, esto también se debe a la distancia que separa la cultura jurídica inglesa acusatoria de la cultura francesa inquisitiva. ¿No hay en todo esto lugar también para el "olfato"?

En Gran Bretaña, a fines del siglo XIX, sir Edmond Henry, inspirándose en los trabajos de los pioneros de la dactiloscopia sir Francis Galton y sir William Herschell, propuso un método de clasificación que permitía clasificar con facilidad las huellas digitales para poder buscarlas y encontrarlas entre otras miles. Algunos años más tarde, este método fue adoptado por la Comisión de Calcuta para todo el mundo. En 1901 nace la fundación dactiloscópica de Scotland Yard.

La creación de los laboratorios de ciencias forenses en los Estados Unidos se remonta a los años 1930. El primer laboratorio científico se fundó en Chicago, habida cuenta del hampa que en esa época reinaba en Illinois. Luego, otros estados del Norte siguieron el ejemplo: el laboratorio central del FBI nace en noviembre de 1982, el Metropolitain Forensic Laboratory de Londres en 1935. A partir de 1960 adquiere un impulso considerable, teniendo en cuenta el importante aumento de los temas tratados. En 1985, el profesor Alec Jeffreys, biólogo en la Universidad de Leicester, pone a punto las huellas genéticas fotografiando el ADN en forma de un código de barras. En efecto, cada individuo posee un ADN que le es propio y que permite una identificación con un margen de error ínfimo. Este descubrimiento, que fue testeado por primera vez por Scotland Yard, llevará a Gran Bretaña a la primera fila en el mundo de la identificación humana.

3. LA *KRIMINALTECHNIK* ALEMANA

Los iniciadores de la *Kriminaltechnik* germánica, a comienzos del siglo XX, fueron Hans Gross, juez de instrucción en Graz (Austria), junto con Heindl en Berlín. De hecho, fue Gross el que le dio impulso al apoyar los trabajos efectuados por científicos de formaciones muy diversas: medicina legal con Lacassagne y su escuela; antropología con Bertillon y Ottolemghi, alumno de Lombroso, en Roma; ciencias físicas, químicas y biológicas con Reiss y su alumno Bischoff (Lausana), Turkel en Viena, Bayle y Sannié en París.

Copyrighted material

La Oficina Federal Criminal Alemana (BKA),[8] creada en marzo de 1951 en Wiesbaden, es restructurada por la ley del 29 de junio de 1973; está directamente subordinada al ministro federal del Interior. Es un organismo voluminoso que requirió importantes inversiones en construcción, hombres y materiales sofisticados. Una de las tareas esenciales del BKA, sin ninguna duda, es su papel de servicio central de intercambio de informaciones electrónicas y también informáticas de la policía alemana. Por otra parte, el BKA es el primer organismo europeo que informatizó ciertas aplicaciones de la criminalística:

— un sistema de codificación de las huellas digitales en cadena alfanumérica (*Erkennungdienst*);[9]
— una investigación informatizada de reconocimiento de escritura manuscrita que comprende una base de datos de más de 100 000 escritores (sistema FISH);[10]
— una base de imágenes digitales referentes a ciertos campos: fichas antropométricas, placas mineralógicas, huellas genéticas, etcétera.

En la actualidad, la Oficina federal criminal alemana goza de una gran fama en Europa.

Luego de esta presentación terminológica, parecía necesario agrupar en las páginas siguientes el estado actual de los conocimientos de la criminalística refiriéndose a los principios y técnicas enunciados por nuestros ilustres maestros. Cualesquiera que sean nuestras nacionalidades y leyes, todos los criminalistas hablan el mismo lenguaje y deben resolver el mismo tipo de problemas.

Por lo demás, la rápida evolución de la tecnología requiere del experto un esfuerzo permanente de actualización, para permanecer al tanto de la actualidad científica y las tecnologías de punta.

En Francia, el perito judicial, cualquiera que sea su especialidad, tiene un reglamento que se desprende de la ley del 29 de junio de 1971 y el decreto del 31 de diciembre de 1974: estos textos reglamentan la inscripción en las listas (lista nacional y listas de las cortes de apelación). El título está protegido, ya que toda persona que usurpara la identidad de perito aceptado por la Corte de Casación o de perito ante una de las cortes de apelación será pasible de sanción penal.

[8] BKA: *Bundeskriminalamt.*

[9] Término alemán que designa el conjunto dactiloscopia y dactilotecnia.

[10] Systema FISH (*Forensiches Informations System Handschriften*).

Copyrighted material

El ejercicio de la actividad de perito está reglamentado en materia tanto penal como civil por determinados artículos del Código de procedimientos, pero, en ambos casos, es designado por el juez con una misión bien definida.

En Alemania, por razones históricas, las autoridades judiciales se remiten a los organismos económicos y profesionales en el nivel de los Länder.[11]

Con Gran Bretaña, el peritaje adquiere un aspecto muy diferente, que es válido para todos los países del Common Law, Gran Bretaña, India, Canadá, Estados Unidos y, en una medida menor, los países escandinavos.

Como en Francia, el perito es el instrumento de la prueba, pero, por regla general, no es un colaborador del servicio público de la justicia o del experto responsable. Es el testigo que produce cada una de las partes para sustentar sus decires en el plano técnico. El juez tomará su decisión de las eventuales deposiciones de los dos expertos contrarios, siendo cada uno de ellos sometidos al interrogatorio y las críticas del otro. Es la famosa *cross examination*.

No es menos cierto por ello que todo el trabajo anterior, vale decir, el enfoque del peritaje y la conducción de las investigaciones, sigue siendo idéntico sea cual fuere la reglamentación del país.

Sean cuales fueren los principios directivos que gobiernen el peritaje judicial, el experto, con total independencia, debe ofrecer su asistencia al tribunal o a la corte dando una opinión o un testimonio imparcial referente a las cuestiones técnicas que tienen que ver exclusivamente con su misión, lo que no siempre ocurre por fuerza en el procedimiento acusatorio para el *expert party*.[12]

[11] Literalmente, federación/estados.

[12] En el procedimiento inglés, el *expert party* puede ser citado por la parte o por la corte a pedido de una de las partes: ésa es la regla general. Alternativamente, cada parte interroga a su o sus peritos, y éste o éstos sobrellevan un contrainterrogatorio de la otra parte.

Copyrighted material

3. LOS MÉTODOS TRADICIONALES

Con este término entendemos los diferentes métodos que se encuentran en la base de la criminalística.

1. LAS COMPROBACIONES EN EL LUGAR DE LOS HECHOS

La investigación de la policía judicial siempre debuta con las primeras comprobaciones en el lugar de los hechos. Esta operación es primordial para el buen desarrollo de las investigaciones posteriores. En materia criminal, los especialistas de la identidad judicial efectúan una descripción detallada que, en principio, siempre es seguida por la realización de un álbum fotográfico completo que comprende tomas cercanas del o los cadáveres en el estado anterior a la llegada del forense, quien procederá de inmediato a realizar ciertas observaciones. Con mucha frecuencia se ve obligado a efectuar, en el cuerpo de la o las víctimas, manipulaciones obligatorias para determinar las causas probables de la muerte y las circunstancias que la precedieron (agresión, fase de lucha, desplazamiento de la víctima) así como para establecer su filiación, sobre todo con el fin de identificar si la víctima o una de ellas es desconocida.

Poco después de la reforma de Pierre Joxe de 1985 aparecieron los "TSC",[1] que son funcionarios de la policía nacional, especialmente formados para intervenir, en principio muy rápidamente, en el lugar de los hechos y cuya misión es observar los menores detalles y recoger todos los indicios, hasta los más anodinos, para hacerse una primera idea sobre el desarrollo del acto criminal. También toman todas las precauciones para que ningún indicio con valor de prueba sea olvidado o destruido por descuido (huellas, raspones, rastros, manchas, cabellos, pelos, fibras o hilos textiles, colillas, polvo exterior, etcétera).

[1] TSC: Técnico de la escena del crimen.

Copyrighted material

Con los técnicos de escena del crimen entramos en el campo de la ciencia de los indicios y los rastros, de la que Loïc Le Ribault[2] da la siguiente definición: "Constituye el conjunto de los métodos y razonamientos científicos aplicados a la investigación y el estudio de indicios materiales. Su objetivo es reconstruir la naturaleza, condiciones y actores de un acontecimiento transcurrido." Este famoso criminalista que, durante muchos años, colaboró con las secciones de investigación de la gendarmería nacional, de hecho se encuentra en el origen de la creación de los TIC.[3]

Ya se trate de los TSC de la policía nacional o de los TIC de la gendarmería, este personal dispone de vehículos especialmente acondicionados con materiales diversos[4] para llevar a cabo sus misiones de la mejor manera posible. Esta concepción corresponde al CARME. Por último, los investigadores imperativamente deben hacer abandonar el lugar de los hechos a las personas que allí se encuentren (testigos, curiosos, caminantes, etcétera.). El acceso al perímetro de la escena del crimen, que, en principio, debe estar delimitado por una cinta de obra que lleve la marca del servicio de policía o gendarmería encargado de la investigación, luego es absolutamente prohibido al público.

Las posibilidades de utilización de la termografía infrarroja (TIR), sobre todo para las verificaciones en el lugar de un crimen cometido con armas de fuego, resultan de los más eficaces, porque permiten:

- detectar y localizar los puntos calientes en los cuales penetraron las balas (caso en que fuera difícil descubrirlos a simple vista);
- localizar sobre superficies duras las zonas sobre las cuales rebotaron los proyectiles (rebotes "calientes");
- encontrar en sitios difíciles (hierbas, hojas, arbustos, etcétera) las vainas eyectadas recientemente;
- determinar, entre varias armas de fuego en presencia (por ejemplo, dispuestas en su soporte), la que disparó algunos minutos antes;

[2] Fundador del CARME: Centre d' Applications de Recherches en Microscopie Électronique.

[3] TIC: Técnicos en identificación criminal.

[4] En general: conjunto fotográfico y video, materiales de aumentos macroscópicos y microscópicos, materiales para la toma de huellas digitales, valija de análisis de estupefacientes, kit de detección de explosivos, láser portátil, fuente ultravioleta, detector de metales, endoscopio —necesario para las muestras biológicas, huellas genéticas inclusive—, kit de residuos de tiro, pequeño instrumental de escena del crimen, etcétera.

Copyrighted material

- descubrir en el lugar del crimen (sobre todo fuera del contexto urbano) el arma abandonada por el autor del delito durante su fuga...

La TIR encuentra una utilización interesante para las búsquedas al aire libre de las personas desaparecidas o en fuga, que sobre el fondo de su entorno constituyen un contraste térmico fácil de localizar con ayuda de una cámara térmica, incluso en un terreno accidentado o cubierto de vegetación alta. Esta técnica también puede aplicarse en la búsqueda de cadáveres sepultados, porque la modificación de la consistencia del suelo, cuando fue cavado, altera su conductividad térmica y, al mismo tiempo, su temperatura y poder de emisión, que se traduce por un aumento de la intensidad de irradiación, que será diferente de la del entorno.

2. LA BALÍSTICA

De acuerdo con Yann Hausner, según el recorrido del proyectil puede distinguirse:

- La *balística interna*, que describe los mecanismos de la aceleración rotativa del proyectil en el cañón de un arma estriada. Por tanto, al examinarla, puede observarse: la cantidad de estrías, su orientación y tamaño, así como los rastros dejados sobre la vaina.
- La *balística externa*, o sea, la trayectoria de la bala en el momento que sale del cañón.
- La *balística terminal*, que analiza la desaceleración de la ojiva hasta el punto de impacto y la reacción del medio ambiente.

De hecho, el peritaje balístico es una expresión que en realidad significa el peritaje del arma de fuego, que el experto examina en tres aspectos a la vez:

- la identificación del arma;
- la identificación de la munición;
- las condiciones de tiro.

Copyrighted material

2.1. *La identificación del arma*

En un primer tiempo, hay que determinar el tipo de arma utilizada, mediante la investigación de las características de los proyectiles disparados y las vainas percutidas. ¿Se trata de un arma corta (revólver, pistola) o larga (fusil de caza, carabina)?

Luego se debe identificar el calibre, modelo, marca. El examen de los diferentes grabados (punzón y número[5]) informa sobre el origen del arma. La identificación requiere primero un tiro de comparación efectuado con el arma incriminada y con una munición idéntica a aquella utilizada, para evitar la creación de características que en apariencia podrían ser disímiles.

El tiro puede efectuarse o en un pozo lleno de agua o en un túnel de tiro de varios metros de largo y que contenga algodón cardado.[6]

2.2. *La identificación de la munición*

— Por la vaina

El examen de una vaina disparada también puede posibilitar la identificación del tipo, marca y modelo del arma.

En este caso, hay que tener en cuenta las marcas de impresión o arrancamiento dejados por el percutor, el eyector o el extractor, la cámara y la culata, y, en ocasiones, la forma de los rastros impresos sobre la vaina.

— Por la bala

Hay que poner de manifiesto la coincidencia de las estrías o microestrías (cantidad, orientación del paso, ángulo, tamaño de las estrías e interestrías).

— Por la pólvora

Existen varios tipos de pólvora (pólvora negra y pólvoras piroxiladas) cuya composición química y examen microscópico son intere-

[5] Cuando el número y el punzón del arma fueron borrados por martillado o limado, se puede tratar de restructurarlos mediante reactivos ácidos tras preparación de la superficie que se debe tratar.

[6] Las fibras de algodón tienen una acción de frenado eficaz de la bala, al tiempo que la protegen de las estrías o rayas posibles. Sin embargo, el algodón se incendia con las balas de alta velocidad. Ahora se tira en un pozo.

Copyrighted material

santes para la identificación. En el caso de un cartucho, el examen del taco puede ser determinante.

— *Los métodos de laboratorio*

Los técnicos en balística tienen a su disposición materiales adaptados al peritaje de las municiones, entre los cuales citaremos:

— el micrómetro especializado, para medir el tamaño exacto de las estrías e interestrías;
— el microscopio comparador, preferentemente video;
— el microscopio mecánico de barrido, más conocido con el nombre de rugosímetro en 3D.[7]

Los resultados que se obtienen pueden variar según los casos:

— *a partir de una bala:* el tipo, la marca y el calibre del arma utilizada;
— *a partir de una vaina:* el género, la marca y el calibre probable del arma utilizada.

Teniendo en cuenta que varias armas de diferentes marcas pueden presentar las mismas características generales, esto sólo permite la eliminación de ciertas armas.

— *a partir de varias balas:* la cantidad de armas utilizadas.

A veces interviene el maquillaje: ya sea en el nivel de las rayas del cañón, lo que permite modificar las estrías, que constituyen una verdadera firma del arma; o en el del percutor, para cambiar el rastro sobre la vaina; o también mezclando cañón y cuerpo de diversas armas.

2.3. *Las condiciones de tiro*

En primer lugar, esto remite al funcionamiento del arma, sobre todo la fuerza de expansión, su poder de penetración, la velocidad de los proyectiles medida en el tiempo de pasaje entre dos barreras fotoe-

[7] Las aplicaciones de la rugosimetría de superficie en 2D y 3D en la criminalística serán tratadas en el capítulo 5.

Copyrighted material

léctricas. A esto hay que añadirle la trayectoria, que es indicada por los orificios de entrada y salida y, por último, la distancia de tiro, que será apreciada por el aspecto del orificio de entrada y permitirá su clasificación en una de las categorías: de contacto, a quemarropa, distancia intermedia y tiro distante. Como elementos de comparación, los laboratorios deben poseer una colección de armas de todo tipo, sin contar las municiones apropiadas en todas sus variantes posibles.

2.4. *Los residuos de los disparos*

En oportunidad de un disparo con un arma de cañón no herméticamente cerrado,[8] algunos residuos de pólvora o cebo pueden depositarse en la mano o la ropa del tirador o la víctima. Estos residuos presentan una composición química compleja: elementos metálicos o anfotéricos, plomo, cobre, bario, antimonio, mercurio, etcétera, que proceden exclusivamente del cebo de la munición. La manifestación de estos elementos metálicos se realiza mediante diferentes técnicas analíticas.

- *Test de parafina*

Este test, llamado de González, permite poner de manifiesto la presencia de nitratos y derivados nitrados en las manos de un sospechoso mediante una simple reacción coloreada a la difenilamina. Se aplica una capa de parafina que contiene reactivos en las manos, y ésta retiene todos los residuos presentes. Por ello, la interpretación no es fiable (falsos positivos). En la actualidad se la ha abandonado totalmente.

En 1985 Pierre Joxe, durante una intervención en la Asamblea Nacional sobre la modernización de la policía nacional, declaraba: "¿Saben que, para determinar si un sospechoso utilizó un arma de fuego, todavía nos vemos obligados a utilizar el test de parafina, como a principios de siglo?"

En nuestros días se utilizan métodos modernos:

- *Espectrometría de absorción atómica*

Es una técnica de análisis elemental cualitativo y cuantitativo de los elementos metálicos procedentes del cebo. Esta técnica presenta

[8] En el caso de un arma provista de un silenciador, los residuos de tiro son muy disminuidos y a veces inexistentes.

Copyrighted material

ciertos límites, porque puede convalidar contaminantes que pueden tener un origen profesional, sin que el sospechoso haya utilizado un arma.

• *Microscopio electrónico de barrido*

El microscopio electrónico de barrido, acoplado a un microanalizador X, permite un análisis elemental de las partículas observadas y de una manera más completa, pero con una sensibilidad inferior a la espectrometría de absorción atómica.

A menudo resulta obligatorio combinar varias técnicas para lograr que los resultados sean más fiables. Por otra parte, algunos elementos exteriores podrán interferir en la identificación, sobre todo las condiciones atmosféricas en el momento del disparo, o el tiempo transcurrido entre el disparo y el análisis.

2.5. *La trayectoria de los disparos*

No hace mucho tiempo todavía, para encontrar la dirección seguida por una bala y por consiguiente el emplazamiento del tirador, se utilizaba un sistema arcaico constituido de varillas y trozos de cuerda. Ahora, para la búsqueda de las trayectorias, se hace funcionar un cañón láser de alineación. El aparato emite un rayo de luz coherente roja (rayo láser).

Aplicando el viejo principio de geometría euclidiana que enuncia que por dos puntos pasa una recta y nada más que una, el especialista en balística enfoca el impacto intermedio colocando el aparato contra el impacto final. El rayo le indica de una manera precisa la dirección del disparo.

2.6. *Los sistemas de identificación de las armas de fuego*

En 1961, el Servicio Central de la Identidad Judicial de la Policía Nacional crea un fichero de comparación de vainas y balas llamado "COSY". Este fichero manual no resultó de una gran eficacia pero por lo menos tiene el mérito de existir y, con seguridad, podría ser mejorado e informatizado. A partir de 1994, un sistema informático —CIBLE®— fue desarrollado por el Laboratorio de Policía Científica de Lyon y luego se extendió a los otros cuatro laboratorios.

Copyrighted material

En la actualidad se comercializan dos sistemas informáticos en materia de balística: DrugFire e IBIS (*Integrated Ballistics Identification System*). DrugFire fue desarrollado conjuntamente por el FBI y la empresa norteamericana Mnemonics Systems Inc.; en cuanto a IBIS, fue desarrollado por la ATF[9] de los Estados Unidos y la empresa canadiense Forensic Technology. Al comienzo, estos dos sistemas habían sido concebidos según dos enfoques diferentes: MSI había desarrollado un sistema de comparación de vainas y Forensic Technology se había dedicado a la tarea mucho más ardua de poner a punto un sistema de comparación de balas. Recientemente, MSI acaba de anunciar la creación de un sistema de comparación de balas, y Forensic Technology un módulo de comparación de vainas. Por ello, las cualidades técnicas de estos dos sistemas resultan equivalentes.

3. LAS HUELLAS DIGITALES

Equivocadamente, se atribuye a Alphonse Bertillon el descubrimiento de las huellas digitales, que constituyen una de las piedras angulares de la identificación judicial y policial. Su sistematización fue puesta a punto por Francis Galton, que publicó un método de clasificación en 1892, basado en la forma de los dibujos digitales. Sólo a comienzos del siglo XX Bertillon los introdujo en sus fichas como accesorio y complemento de sus métodos antropométricos.

3.1. *La formación de las huellas digitales*

Una huella digital consiste en una mezcla producida por las secreciones naturales de las glándulas sudoríparas,[10] El sudor se desliza por los poros de la piel, así como las partículas que provienen de la descamación continua de la epidermis y otros elementos contaminantes (sangre, grasa, polvo). La mezcla se deposita sobre soportes lisos dejando un dibujo que reproduce las crestas de la piel. El depósito va-

[9] ATF: *Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms.*

[10] Las tres glándulas sudoríparas principales del cuerpo humano son: la glándula ecrina, la sebácea y la apócrina. Las secreciones de estas glándulas presentan composiciones químicas notablemente distintas.

Copyrighted material

ría mucho de un sujeto a otro, y en un mismo individuo, en función de la edad.

Las huellas son visibles durante años sobre la mayoría de las superficies lisas si no son o alteradas por condiciones atmosféricas particulares (temperatura, luz, humedad, etcétera), o borradas por un frotamiento mecánico. La policía criminal de Oslo refiere que unas huellas dejadas sobre las páginas de un libro que no había sido abierto desde hacía treinta y cinco años pudieron ser detectadas con una claridad satisfactoria para una identificación.

3.2. *La dactiloscopia*

La utilización de las huellas digitales debe ser encarada en dos aspectos:

- *La filiación decadactilar*

Se trata de identificar a un individuo con la ayuda de su diez dedos por intermedio del *fichero "decadactilar", colección de huellas asociadas* de toda persona registrada, cualesquiera que sean el motivo o la índole de la infracción o sus resultados judiciales. Existen unos cuarenta métodos de clasificación decadactilar, la mayoría de los cuales se inspiran en el de Galton-Henry o en el de Vucetich. El que fue adoptado por todas las naciones es el primero.

- *La identificación monodactilar*

En este caso, se debe identificar al autor de una infracción (crimen, efracción) con ayuda de un rastro epidérmico encontrado en el lugar, por intermedio del *fichero "monodactilar", selección de huellas separadas* de los malhechores especialistas de ciertos delitos.

3.3. *La dactilotecnia*

En la identificación dactilotécnica, por el contrario, se lo ignora todo acerca del hombre, y lo que podrá conducir al conocimiento de dicho hombre es el descubrimiento, en el lugar de la infracción, de un rastro papilar producido por un dedo, por la palma de la mano, hasta por la planta del pie.

En la búsqueda dactilotécnica, la utilización del fichero decadactilar no es viable y sólo puede hacerse en el fichero monodactilar, selec-

Copyrighted material

ción de huellas separadas procedente de delincuentes fichados, y cuya cantidad de grupos es muy superior al de la clasificación decadactilar.

La identificación es formal cuando en el rastro y la huella de comparación se encuentra cierta cantidad de puntos de concordancia (minucias),[11] que varía en función de los países, pero en general está comprendida entre 12 y 17. En caso de búsqueda positiva, la legislación francesa impone 17 puntos de concordancia; se establece una correspondencia para presentar aumentos en la relación 5:1 del rastro y la huella sobre las que se localizan todas las minucias.

3.4. *El procesamiento informatizado*

La operación comienza por la captura de la imagen digital, poniendo en práctica diversos principios de física (reflexión total despojada, medida capacitiva o térmica por componentes electrónicos o semiconductores).

Luego vienen las diversas etapas de procesamiento:

- *Almacenamiento de la huella* en un formato apropiado (por ejemplo, Bitmap de Windows). El formato de entrada de las imágenes que deben procesarse puede ser realizado por escáner, cámara de digitalización, etcétera.
- *Filtrado de las imágenes* por segmentación, para eliminar las zonas de ruido de la imagen (imagen manchada, punteada o incompleta...).
- *Evaluación de la calidad de la imagen capturada* mediante cálculo de los factores que permiten establecer un criterio automático de calidad.
- *Esquematización de la imagen* digitalizada (blanco y negro). Para lograr una mejor detección de las minucias es necesario obtener una imagen más esquemática. Todas las líneas deben tener el mismo espesor (1 píxel).
- *Extracción de las minucias.* Se efectúa por medio de un programa de procesamiento y diversos algoritmos. Se extrae una estructura de datos. Lo que permite la obtención de la firma de la huella (firma digital) es el proceso final. La identificación debe incluir por lo menos

[11] La minucia, según F. Galton, corresponde a la disposición de las crestas papilares, que forman puntos característicos que se hallan en el origen de la individualidad de los dibujos digitales (bifurcaciones, islotes, lazos, interrupciones, etcétera).

Copyrighted material

de 15 a 20 minucias. Cada minucia ocupa un espacio de 16 bytes, o sea, 240 bytes para una cantidad media de minucias. El almacenamiento final es compactado por compresión de los ficheros para economizar aproximadamente el 40 por ciento del espacio de memoria. Durante el proceso de extracción se detectan como media 100 minucias. El programa sólo extrae las minucias reales y rechaza las erróneas. El conteo se realiza sobre aproximadamente 40 minucias, lo que aumenta todavía más la certeza de los resultados, si nos referimos a los 17 puntos de concordancia de la dactilotecnia.

3.5. *Los dermatoglifos digitales*

Las crestas papilares o dermatoglifos (del griego *derma, -atos,* "piel", y *gluphê,* "grabado") son inmutables, y ya están formadas en el cuarto mes de embarazo entre el centésimo y el cien vigésimo día del desarrollo del feto. El dibujo de las crestas papilares no es alterado por la enfermedad, con excepción de la lepra, y sólo desaparece con la putrefacción. Cualquiera que sea el método utilizado, a menudo se encuentran las mismas formas, que pueden clasificarse en cuatro categorías:

- *Los arcos*

Los dibujos están constituidos por crestas más o menos curvas, en forma de arcos superpuestos que van de un borde al otro del dedo. En general, en los arcos, no hay deltas.[12] La curvatura de las crestas está más o menos acentuada, siendo axial o lateral el punto máximo de la curvatura.

- *Las presillas*

Las crestas papilares afectan la forma de asas o presillas internas o externas, vale decir, abiertas o cerradas a derecha o izquierda y de posición variable (oblicua, vertical, horizontal).

- *Las volutas*

Están constituidas por círculos, óvalos, espiras, brotes, alforjas, etcétera. La forma evoluciona entre dos deltas, las más de las veces laterales.

[12] El delta es un detalle triangular del dibujo. Generalmente está formado por la bifurcación de una cresta o la separación de dos.

Copyrighted material

• *Los verticilos o remolinos*

A este grupo pertenecen todos los dibujos constituidos por lo menos por dos deltas, en general tres, excepcionalmente cuatro. El dibujo es muy complejo, yendo de la alforja a combinaciones de presillas y volutas (figuras compuestas). Entre estos citaremos los verticilos simples o sinuosos, así como las presillas de bolsa, lateral o central.

El estudio detallado de los dibujos epidérmicos, mediante una serie ininterrumpida de formas, podría mostrar la posibilidad de pasar de un arreglo de lo más simple a lo más complejo.

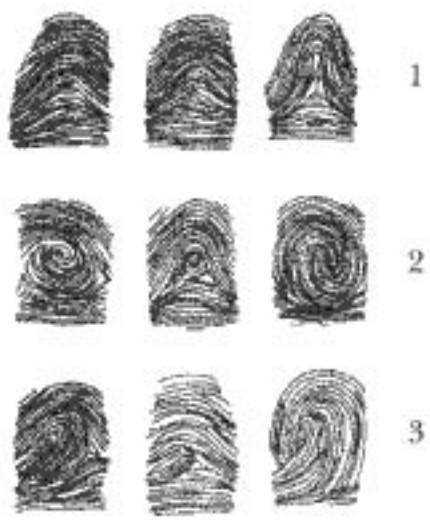


Figura 3.1. — Los dermatoglifos digitales: 1. arcos y presillas; 2. volutas y verticilos; 3. formas excepcionales o compuestas.

3.6. *Relevamiento y revelación de las huellas*

Sin lugar a dudas, hay que hacer una distinción entre el levantamiento de las huellas sobre un individuo vivo o un cadáver y la búsqueda y detección en el lugar (suelo, pared, puertas, muebles, objetos diversos, documentos, etcétera).

3.6.1. Relevamiento de las huellas

El relevamiento de las huellas con ayuda de una tinta especial no constituye en sí una operación complicada; no obstante, requiere cierta habilidad: es necesario aplicar sobre una superficie curva y blanda la pulpa del dedo y trasladar ese entintado sobre una superficie plana y dura, la ficha.

Esta operación tiene una gran importancia porque es indispensable obtener huellas de muy buena calidad, tanto en nitidez como en

Copyrighted material

extensión. Señalemos que el relevamiento de huellas sobre un cadáver resulta más delicado que sobre un ser humano vivo.

3.6.2. Detección de las huellas

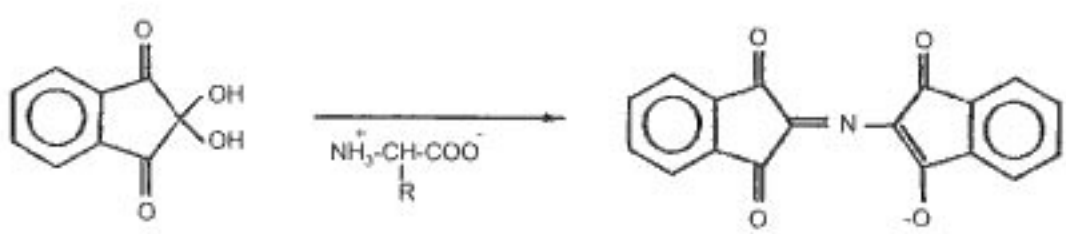
La detección de las huellas digitales invisibles al ojo, o sea, de las huellas latentes, requiere la utilización de diversos métodos según la naturaleza del soporte, entre los cuales los que se usan con más frecuencia son los siguientes:

3.6.2.1. Los detectores mecánicos

Desde mucho tiempo atrás, los especialistas de la identidad judicial utilizan diversos polvos (porfirizados, coloreados, magnéticos o fluorescentes) para detectar las huellas latentes. Estos procedimientos, que ante todo convienen para las superficies lisas (vidrios, espejos, vajilla, muebles), no se adaptan a las superficies rugosas (papeles, cartones, tejidos), habida cuenta de la difícil, hasta imposible, eliminación del exceso de materia. De ello resulta, para los documentos, una degradación a menudo irreversible (es el caso, sobre todo, del negro animal o el grafito). Por ello, la detección de las huellas sobre los papeles depende más de la habilidad del experto en documentos que de la de los funcionarios de la identidad.

3.6.2.2. Los detectores químicos

Entre los diferentes reactivos (nitrato de plata, benzidina, vapores de yodo, y de 7.8-benzoflavone, etcétera), la ninhidrina, que reacciona con los ácidos aminados presentes en el estado de rastros en el sudor, por cierto es la que mejor se adapta y la más eficaz para los documentos. La reacción es extremadamente sensible: en efecto, basta con algunos milésimos de miligramo para colorear las huellas de rojo púrpura, según la reacción de Ruhemann.



ninhidrina (incoloro) — ácido aminado — púrpura de Ruhemann (púrpura oscuro)

Copyrighted material

En la práctica, se vaporiza una solución acetónica de ninhidrina a 2 g/l, que debe ser constantemente conservada en la heladera. Con esta débil concentración, el desarrollo total del color requiere cuarenta y ocho horas, y la sutileza de la manifestación resulta directamente ligada a la concentración de la solución. El desarrollo de la coloración roja puede ser acelerado en caliente, pasando el documento tratado por la estufa. También puede mejorarse la manifestación de huellas frescas en ninhidrina por utilización de enzimas, como la tripsina y, sobre todo, la pronasa. El empleo reciente de la 5-metoxininhidrina y la benzoninhidrina da una mejor sensibilidad con los ácidos aminados. Además, las huellas detectadas con estos productos y tratadas con una sal de cinc o de cadmio muestran una fotoluminiscencia a temperatura ambiente, lo que permite una manifestación excelente, en particular sobre superficies difíciles.

Por último, señalemos que la evaporación de una solución al éter de cola cianoacrilato produce un depósito blanco que va a fijarse sobre toda huella digital cercana. Esta manifestación puede ser fotografiada bajo radiaciones ultravioletas o láser argón, tras refuerzo, en caso necesario, con un colorante fluorescente.

3.6.2.3. El procedimiento electrostático

La metodología será descrita en el capítulo 5, § 4.2. El aparato ESDA[13] detecta con éxito los rastros papilares frescos que figuran sobre documentos, cualquiera que sea la naturaleza del soporte (papel absorbente o no). Aclaremos, sin embargo, que la duración de humidificación no debe exceder de cinco a diez minutos. Esta técnica tiene la ventaja de no alterar la pieza examinada, porque se trata de una imagen positiva que figura sobre el film delgado (prueba ESDA). El film está separado del documento, para recuperarlo absolutamente intacto. Para conservar los resultados de una manera permanente es necesario colocar un film protector autoadhesivo sobre la imagen de la prueba obtenida.

3.6.2.4. La metalización al vacío

El principio consiste en sublimar una mezcla de polvos metálicos en el interior de un evaporador (campana de vacío) en el que previa-

[13] Aparato comercializado por Foster y Freeman.

Copyrighted material

mente se dispuso el documento cuyas huellas papilares se desea levantar. El recinto de metalización está provisto de dos electrodos que permiten la adaptación de una cúpula de tungsteno que contiene el polvo o la mezcla de polvo para sublimar. El aluminio, o una mezcla cinc-antimonio-cobre, da buenos resultados. La operación se efectúa en vacío (de 10^{-4} a 10^{-5} mm de mercurio) durante unos diez minutos. Las partículas cuyo diámetro es de algunos angstroms se depositan en los espacios interlineales: las crestas aparecen en blanco según una imagen invertida respecto de la huella tomada tras entintado del dedo.

3.6.2.5. El láser argón

La utilización del láser iónico de argón[14] o del láser de neodime[15] fue puesta a punto inicialmente en Canadá. La luz monocromática coherente y muy intensa del láser argón ofrece condiciones óptimas, gracias a rayas cuyas longitudes de onda son respectivamente de 466, 472, 476 y 488 nanometros. Permite detectar huellas que fueron expuestas a temperaturas altas o extremadamente bajas, hasta huellas que hubieran recibido agua de lluvia. El haz hace aparecer las huellas en amarillo o naranja: entonces pueden ser directamente fotografiadas o registradas en video.

3.6.2.6. La lámpara de xenón

Una lámpara de arco de xenón (*polilight*) (véase cap. 5, § 3.6) fue especialmente concebida por un equipo australiano de la Universidad de Canberra para la detección por fotoluminiscencia de huellas latentes. Esta lámpara permite una excitación eficaz en todas las longitudes de onda del espectro comprendidas entre 250 nm y 1 200 nm. El ajustamiento preciso del campo espectral se realiza mediante un sistema de filtraje adaptado. Los resultados obtenidos son por lo menos equivalentes a los del láser de argón o de neodime, con una inversión mucho menos elevada.

[14] El láser argón es un láser de gas ionizado que funciona en régimen continuo sobre varias rayas, las más intensas de las cuales están situadas en 488 (azul) y 514 (verde) nm.

[15] El láser de neodime, que funciona en el infrarrojo (1 060 nm), es un láser con aislador dopado que trabaja en régimen impulsional.

Copyrighted material

3.6.2.7. El método microbiológico

Determinados microorganismos se desarrollan en ocasiones sobre los diferentes soportes (papel, cartón, pergamino, cuero, etcétera). Por consiguiente, había que descubrir un microorganismo que para su desarrollo y multiplicación utilizara los compuestos presentes en los rastros epidérmicos, con la esperanza de que los microbios proliferasen y se vuelvan visibles sobre las crestas papilares.

La especie bacteriana utilizada, *Acinetobacter calcoaceticus*, está mezclada a un gel fundido que se vierte sobre la huella antes de que se fije. En el curso de la incubación, las colonias de bacterias se desarrollan en el gel en los puntos nutritivos que coinciden con las crestas, y entonces los rastros por identificar se vuelven visibles.

Esta técnica, todavía en fase experimental, parece muy prometedora, sobre todo para mejorar la legibilidad de las huellas que figuran sobre soportes coloreados.

3.7. *Los sistemas informáticos (AFIS)*

A partir de 1986, el manejo manual del fichero monodactilar y decadactilar fue remplazado por un sistema informático de reconocimiento de huellas digitales, AFIS,[16] confiado a la empresa Morphosystèmes por la policía nacional francesa. En 1989, el sistema AFIS de Printrak Inc. se instala en Bruselas en el seno del Servicio de Identificación Judicial (SIJ). La técnica de los sistemas AFIS descansa en la determinación de las minucias (puntos característicos únicos de cada huella) y en la codificación de esas minucias mediante "indicadores". Las minucias son memorizadas y almacenadas. Luego son comparadas con las de las otras huellas que figuran en la base de datos. El sistema efectúa entonces relaciones de comparación y una lista de huellas sospechosas, o sea, las más concordantes. Hay que tener presente que una calculadora electrónica no puede remplazar a un especialista en huellas digitales, porque sólo un experto puede declarar formalmente que dos huellas proceden del mismo dedo.

A partir del mes de agosto de 1992, la identidad judicial parisina puso a punto el Fichero Automatizado de Huellas Digitales (FAED). Una nueva función consiste en cargar la memoria con las huellas de

[16] *Automatic Fingerprint Identification System.*

Copyrighted material

los casos no resueltos (TNR) como resultado de búsquedas negativas en la base de datos. Los TNR son sistemáticamente comparados con toda nueva inserción decadactilar, y por tanto son susceptibles de ser identificados debido a la señalización *a posteriori* del autor.

4. LAS ESCRITURAS Y LOS DOCUMENTOS

El peritaje en escrituras constituye uno de los procedimientos de investigación más serios en criminalística, por lo menos cuando se aplica a piezas de cierta extensión. Lamentablemente, con demasiada frecuencia es confiado a personas que no tienen la competencia requerida,[17] a gente instruida que, por eruditos que sean, ignoran el enfoque y las nociones fundamentales necesarias para llevar a buen puerto las misiones judiciales. En la actualidad, habida cuenta de la rápida evolución de la tecnología, el apelativo de perito en escrituras resulta superado. La expresión "perito en documentos" utilizada por los países anglosajones parece mejor adaptada a la complejidad de los problemas. Las más de las veces, la misión no se limita a una simple verificación de escritura sino que apela a técnicas conexas: transacciones bancarias electrónicas, informática, reprografía, impresión, métodos fisicoquímicos de análisis, etcétera.

4.1. *Los manuscritos y las falsificaciones gráficas*

4.1.1. Los manuscritos

En una aproximación racional del examen de los manuscritos, no hay un método general sino diferentes técnicas que son función de la índole de las piezas sometidas a estudio.

No abordaremos el problema del mismo modo para peritar un testamento, una carta anónima o una firma; el comportamiento del peritaje será específico para cada caso, y permitirá que el experto establezca metódicamente su convicción. En un segundo tiempo, la presentación de esta convicción deberá ser efectuada al modo de un informe escrito que

[17] T. Cretin, "Considérations et propositions à propos de l'expertise judiciaire", *Revue Sciences crim.*, nº 3, julio-septiembre de 1988.

Copyrighted material

incluya una demostración clara y específica, acompañada de fotografías y, de ser necesario, de exámenes científicos de laboratorio. Sin embargo, las diferentes técnicas de examen, para ser eficaces, deben ser utilizadas minuciosamente con todo el rigor que exige una metodología específica (véase recapitulativo en el cuadro 3.1.).

Nos percatamos de que los diferentes procedimientos de examen de los documentos manuscritos no son un tema menor, teniendo en cuenta la evolución considerable del método experimental y las técnicas de laboratorio desde estos últimos veinte años, si nos referimos a las diferentes obras y las numerosas publicaciones francesas y extranjeras aparecidas desde 1980.

4.1.2. Las falsificaciones gráficas

La noción de falsificación engloba diferentes apelativos, cuyas definiciones conviene recordar.

La *falsificación intelectual* es aquella que se comete sin dejar rastros aparentes y no refleja el pensamiento del autor en el caso, por ejemplo, de una declaración falsa o de una falsa enunciación en la confección de un acta. En otros términos, la falsificación intelectual se realiza sin que se haya verificado ninguna alteración gráfica visible o invisible a simple vista.

La *falsificación material* se obtiene mediante operaciones fraudulentas de orden mecánico, físico o químico, ya sea como resultado de manipulaciones de orden fotográfico o reprográfico.

En este último caso —el que nos interesa— se distinguen las falsificaciones por alteración mecánica (borrado, raspado químico [lavado]), físico (sobrecarga, ennegrecimiento), etcétera, y las falsificaciones de orden gráfico (imitación con lápiz, estilográfica, bolígrafo, marcador, etcétera). Las principales piezas acusadas de falsificación son los testamentos, las firmas de algunos cheques, las letras de cambio, las órdenes de transferencia, las boletas de las cartas bancarias, los reconocimientos de deudas...

La falsificación gráfica se caracteriza por la imitación, pero se encuentran piezas escritas sin ninguna preocupación por la imitación: son las piezas llamadas de fantasía. Para buscar a los autores de la falsificación, el experto debe considerar los signos intrínsecos de sinceridad y de falsificación, que permiten presumir acerca de la sinceridad de una pieza examinada independientemente de toda comparación con las piezas testigo.

Copyrighted material

CUADRO 3.1. — Cuadro recapitulativo de los procedimientos de examen específicos de cada caso

Índole de las piezas por peritar	*Exámenes específicos correspondientes*
Escritura disfrazada	1) Característica de orden general 2) Ordenación 3) Signos de acentuación y puntuación 4) Particularidad gráfica (modismos, *lapsus calami*)
Escritura que imita la tipografía	1) Ordenación 2) Características generales que son de orden patológico 3) Las características de regresión o progresión
Escritura con la mano izquierda	1) Ordenación 2) Características generales 3) Estudio morfológico de las letras de forma simple o de motricidad infantil 4) Los signos de acentuación y puntuación
Escritura con la boca	El desarrollo del peritaje descansa en los mismos criterios que las escrituras con la mano izquierda
Gráficos falsos	1) Características generales 2) Búsqueda de presiones indiciales 3) Búsqueda de los signos intrínsecos de sinceridad y falsificación
Testamentos	1) Características materiales 2) Ordenación 3) Características generales 4) Signos intrínsecos de sinceridad o falsificación particulares de los testamentos
Firmas	1) Características generales 2) Signos intrínsecos de sinceridad o falsificación 3) Búsqueda de presiones indiciales y *lapsus calami* 4) Estudio del movimiento de ejecución
Cheques y efectos comerciales	1) Ordenación 2) Características generales 3) Búsqueda de los modismos y presiones indiciales 4) Examen de los detalles morfológicos de las cifras y letras 5) Firma (apariencia general y movimiento de ejecución)
Escrituras extranjeras	1) Ordenación 2) Características generales 3) Signos de acentuación y puntuación 4) Similitudes de formas de letras posibilitadas por la coincidencia entre los alfabetos

Copyrighted material

Para el peritaje de las piezas acusadas de falsificación, por tanto, además de las características generales y las particularidades gráficas, se examinan los signos intrínsecos de sinceridad y de falsificación (véase A. Buquet, *L'expertise des écritures manuscrites,* Masson, 1991, pp. 54-55).

4.1.3. Los sistemas de reconocimiento de las escrituras y firmas

Desde hace cuarenta años, muchos investigadores trabajaron en el reconocimiento de la escritura utilizando diferentes métodos científicos (óptico, digital, matemático, etcétera). Su rasgo común es ubicar el reconocimiento de las formas bajo la luz de las ciencias cognoscitivas, principalmente la psicología cognoscitiva, vale decir, el estudio de las actividades psicológicas superiores (percepción, atención, memoria, aprendizaje, razonamiento, procesos intelectuales, investigaciones en inteligencia artificial...).

Pese a numerosos trabajos en este terreno que oportunamente requirieron la realización de materiales muy sofisticados y el aporte de la informática de punta y de su actual poder de cálculo, no es menos cierto que, hasta el día de hoy, los especialistas son incapaces de reconocer automáticamente una escritura cursiva ligada con una seguridad concluyente. La incertidumbre de los resultados varía de manera demasiado aleatoria. Las dificultades son de diversos orígenes: segmentación de las palabras en diferentes grafemas, variabilidad intrínseca de los trazos en función de las disposiciones psicológicas pero también o al mismo tiempo fisiológicas, sin hablar de las escrituras imitadas o disfrazadas.

• *Reconocimiento de las escrituras manuscritas asistido por computadora*

La primera fase consiste en digitalizar la imagen mediante una cámara de video acoplada a un procesador digital. Este material digital permite transformar la imagen de un carácter en una matriz de puntos o píxeles, cada uno de los cuales es afectado por un nivel de grises que varía de 0 (negro) a 255 (blanco). La imagen obtenida puede ser visualizada sobre la pantalla de un monitor blanco y negro o color. Un teclado permite manipulaciones locales de imágenes (aumento, modificación de las zonas grises), sin hacer intervenir la computadora, cuya utilización está reservada a procesos más complejos.

Si se considera un carácter manuscrito digitalizado, aislado del resto del texto y que aparece en gris sobre fondo blanco, el carácter presenta irregularidades y el rasgo tiene cierto espesor: una parte rectilínea

Copyrighted material

de un carácter, de hecho, corresponde a una nube de puntos muy alargada alrededor de su eje de inercia principal. Conviene efectuar cierta cantidad de procesamientos previos, como la eliminación del ruido, que puede existir inicialmente en forma de pequeñas nubes de puntos parásitos, así como la distribución del texto en caracteres.

En la práctica, no es posible reconocer las escrituras manuscritas a partir de matrices de puntos, en virtud de la gran variabilidad de las formas y la duración de ejecución de una operación semejante. Se necesita una operación intermediaria, que consiste en extraer de la matriz los elementos que mejor caracterizan la letra, para dar de ella una descripción matemática simplificada. La elección de los parámetros destacados no puede ser sino un compromiso entre la previsión del reconocimiento y la duración del tiempo de cálculo. De hecho, la descomposición del trazo en diferentes primitivas induce inexactitudes que se van acumulando.

En una segunda fase, un algoritmo de segmentación,[18] en forma de un conjunto de segmentos de rectas, extrae los rasgos característicos que, de alguna manera, forman la osamenta de la letra.

Un segundo algoritmo ordena y codifica dichos segmentos, transformando los elementos característicos destacados en una serie ordenada de pares (longitud y orientación de los segmentos de recta, arco de círculo, cambio de curva) pertenecientes a un conjunto determinado.

El procesamiento posterior consiste en comparar el código del carácter con los elementos de un conjunto de aprendizaje prememorizado.

La lectura automática de las escrituras cursivas manuales, en la práctica, todavía es muy limitada debido a diferentes modos de ligazón. En efecto, es difícil determinar con precisión el límite del comienzo y el final de las letras. Hasta el momento actual permanece exclusivamente en fase de investigación.

• *Reconocimiento de firmas asistido por computadora*

El reconocimiento automático de firmas fue objeto de cuantiosas investigaciones por firmas norteamericanas, inglesas, francesas, japonesas y suizas.

[18] Descripción del esquema de segmentación con ayuda de un repertorio de acciones elementales realizables y con una duración limitada en el tiempo. Gracias a un lenguaje de programación, puede ser traducido en un programa ejecutable por una computadora.

Copyrighted material

En 1973 nace un sistema de reconocimiento no dinámico[19] de la firma *Verisign*. La comercializa en 1982 Analytical Instrument Ltd.

En 1987, un sistema creado sobre la base del reconocimiento dinámico[20] de la firma, o sea, del movimiento durante su ejecución, *Sign/on,* es comercializado por la empresa inglesa Alan Leibert Associates.

El reconocimiento puede ser dinámico, vale decir, efectuado en el curso del trazo, o estático, a partir del dibujo que figura en un documento.

El sistema de reconocimiento dinámico consiste en hacer escribir al firmante con una estilográfica especial sobre un soporte metálico ubicado en un campo magnético. Los movimientos de la estilográfica son grabados por una cabeza de lectura. Los datos son memorizados y comparados con los de la firma de referencia inscrita en una tarjeta magnética personal. La computadora rechaza todo desvío superior a un límite fijado de antemano, por ejemplo 1%, y sólo indica su resultado a quien presentó la tarjeta, preservándose de este modo el carácter confidencial de la operación.

Otro interés del método es recordar la distinción que hacen los expertos entre los *rasgos* (fluidez, presión) y el *trazo* (movimiento y dibujo létrico). Si el trazo puede ser imitado a fuerza de ejercicios, el rasgo es más difícilmente reproductible (como el toque del pintor).

La verificación estática, luego del trazo, debe ser reubicada en el contexto general del reconocimiento de formas por computadora. Una gran cantidad de especímenes de comparación son almacenados en la memoria.

Para tener en cuenta la variabilidad instantánea, cada escribiente debe realizar cinco firmas, que traza sobre la placa sensible de un captor electrónico con la estilográfica de su elección. El captor establecerá una media entre las variaciones de escritura. Cada firma memorizada será identificada por diferentes parámetros gráficos.

La comparación electrónica entre la firma de prueba y las del fichero es casi instantánea. No obstante, varía levemente, según la potencia de cálculo de la computadora.

Actualmente, dos sistemas semiautomáticos de comparación de escrituras y firmas se encuentran en funcionamiento en los servicios de la policía alemana y holandesa:

[19] Reconocimiento a partir de un dibujo que figura en un documento.

[20] Reconocimiento efectuado en el curso del trazo.

Copyrighted material

- El sistema FISH multiusuarios, desarrollado por la policía judicial alemana (BKA).[21]
- El sistema SCRIPT, desarrollado por el NIFO[22] en colaboración con la Universidad de Delf y el TNO, un importante instituto de investigación tecnológica holandesa. Este sistema, utilizado por la policía de La Haya, recientemente fue examinado por la de Maastricht.

Los dos sistemas fueron concebidos para ser utilizados por la policía científica y para permitir la comparación de firmas o escrituras con una base de datos de escrituras o firmas de referencia.

De ello resulta que los procedimientos de selección interactivos son complejos y requieren, por parte del operador, conocimientos profundos, así como un dominio y una buena práctica del peritaje en escrituras. Debe determinar con exactitud el porcentaje de concordancias y discordancias y fijar el grado de certeza con que puede pronunciarse para su convicción.

4.2. *Los documentos dactilografiados y las bajadas informáticas.*

El acceso al peritaje de documentos dactilografiados[23] debe hacerse en un doble aspecto.

- Existe uno o varios aspectos, pero ninguna marca de comparación: en este caso, la misión consistirá en identificar el o los tipos de máquinas que pueden corresponder a la escritura del o los documentos de marras, y eventualmente hacer comparaciones con casos similares sobre los que hubo que examinar las mismas marcas. Esta identificación dará al investigador o el magistrado un primer elemento que le permitirá buscar, entre los sospechosos, al poseedor de la o las máquinas seleccionadas.
- Una máquina de escribir o un documento de comparación fue requisado a un sospechoso; en este caso, el trabajo consiste en proceder a una comparación en dos tiempos:
  — buscar las características generales correspondientes;

[21] *Bundeskriminalamt* (Oficina federal alemana WIESBADEN).

[22] El instituto holandés encargado de la investigación en ciencias legales y de los exámenes de la policía técnica.

[23] Para la metodología, véase *L'expertise en bureautique*, París, ENPP, 1989.

Copyrighted material

— buscar las características descriptivas de aplicación al caso (identificación de la máquina).

Estos elementos permitirán dirigir la investigación hacia los usuarios potenciales o, a la inversa, eliminar a las personas sospechosas.

La utilización de la máquina de escribir tradicional, ya sea mecánica o eléctrica, está prácticamente en vías de desaparición en provecho de las configuraciones informáticas, conectadas a una o varias impresoras. Por ello, este tipo de misión es cada vez más excepcional.

Actualmente, teniendo en cuenta la vulgarización de la microinformática, los problemas planteados dependen exclusivamente o de la técnica de impresión y, luego, de la propia impresora, o de la identificación de las tipografías, que pueden ser residentes o telecargadas.

Es un deber para el experto poseer un fichero lo más completo posible que catalogue la mayor cantidad de fuentes. La conservación de un fichero semejante es primordial, y la experiencia demostró que es necesario tener un clasificador por lo menos de dos entradas.

A esto debe añadirse una verdadera documentación que comprenda las fichas técnicas de los programas de procesamiento de texto, teniendo en cuenta los tipos de unidad central.

De este modo, el carácter Arial de una PC en Windows 98 (MS-DOS 4.10) con el programa Word 6 podrá ser confundido con el carácter Helvética obtenido con una Power Mac G4, con el mismo programa.

Por tanto, la documentación debe ser la más completa posible y mantenida al día regularmente.

4.2.1 Búsqueda manual

Uno de los ficheros más conocidos es el del Institut of Typography Engineering Research, que fue publicado en Japón en 1991, y que clasifica alrededor de 3000 familias tipográficas europeas.

La búsqueda en el fichero se realiza observando diferentes parámetros, en el siguiente orden:

1. Naturaleza del o los documento(s).
2. Tecnología de impresión.
3. Atributos de estilo.
4. Familia de tipografías.
5. Tamaño de los caracteres (espacio, cuerpo).
6. Tipo de cifras.

Copyrighted material

7. Examen de las cifras 3, 4, 7.
8. Examen de las mayúsculas A, M, Q, T.
9. Examen de las minúsculas *a, g, m.*
10. Paginación.

En principio, el examen de estos parámetros permite identificar el tipo de carácter, es decir, la denominación comercial y su origen de fabricación (por ejemplo, Dutch 801 Roman Bistream).

La aplicación al caso se realiza con ayuda de un microscopio estereoscópico provisto de un obturador fotográfico automático de enfoque con aumentos de 10 a 120 x.

Como la práctica cotidiana de la búsqueda manual es larga y fastidiosa, requiere la informatización del fichero.

Así es como la policía técnica y científica puso en funcionamiento, a partir de 1989, una ayuda automatizada para la identificación de las escrituras dactilografiadas (PARC).[24]

4.2.2. Búsqueda informatizada

Se acabó el tiempo en que había que consultar a mano imponentes ficheros; hoy, los peritos trabajan en tiempo real gracias a la búsqueda informática.

Al retomar la idea del fichero de las máquinas de escribir establecido a partir de los datos del ministerio del Interior y difundido por la Interpol, en 1989 habíamos elaborado una fórmula de identificación mucho más compleja (hasta 20 parámetros) pero exclusivamente reservada a las máquinas de escribir comunes, cuyos caracteres son solidarios de la máquina, así como a las máquinas de cabeza de impresión intercambiable (esfera o disco).

Esta búsqueda informatizada permitía, con mucha rapidez, según la cantidad de parámetros captados sobre la máscara, obtener una remisión al fichero (número de la ficha, tipo y origen del carácter, escape). En efecto, habiendo ingresado en un microprocesador cada ficha correspondiente a un carácter, se pudo lograr una clasificación de las muestras de impacto, pero esto no siempre permitía obtener la rápida restitución de esas muestras.

[24] Puesto de analista y de reconocimiento de características de la empresa MICROPROSS.

Copyrighted material

La evolución tecnológica, que trajo aparejado, por una parte, impresoras cada vez más sofisticadas, y por la otra programas de procesamiento de texto cada vez más competentes, complejizó y dificultó los problemas de identificación de las fuentes; se imponía una total puesta al día, con la creación de un sistema informático altamente capacitado. Esta herramienta comprende una base de datos de referencia, almacenada en un disco magneto-óptico o un disco duro, que puede ser puesta al día constantemente y en la cual todas las muestras están clasificadas según criterios bien determinados: hasta 20 parámetros. Una vez hecha la identificación de una fuente incriminada, la de comparación podrá ser restituida sobre impresora para comparar con el documento problema.

De este modo, si se comunica a la computadora el modelo del documento sospechoso, la muestra de comparación aparecerá en la pantalla. Esta imagen, llegado el caso, podrá ser procesada para poner de manifiesto ciertos detalles particulares con miras a una personalización necesaria para una aplicación al caso específico.

La captación de las muestras se realiza o por un escáner de por lo menos 400 puntos por pulgada o, mejor aun, por una cámara digital con una resolución de 35 a 45 puntos por milímetro.

Llegado el caso, tras la identificación de la fuente es posible proseguir por aplicación a la especie, vale decir, localizar la presencia de una falla morfológica, un no alineamiento o una irregularidad de la impresión, para permitir la adscripción del material o el documento incriminado.

4.2.3. Propuesta de una nueva aproximación al reconocimiento de las escrituras

En el capítulo 3, § 4.1.3 indicamos que en la actualidad no era posible efectuar el reconocimiento de la escritura cursiva ligada.

Aprovechando nuestra propia experiencia, proponemos una nueva concepción de reconocimiento de las escrituras mediante un Sistema Matético-Perceptrón (SMP).

El esquema del principio es el siguiente:

Copyrighted material

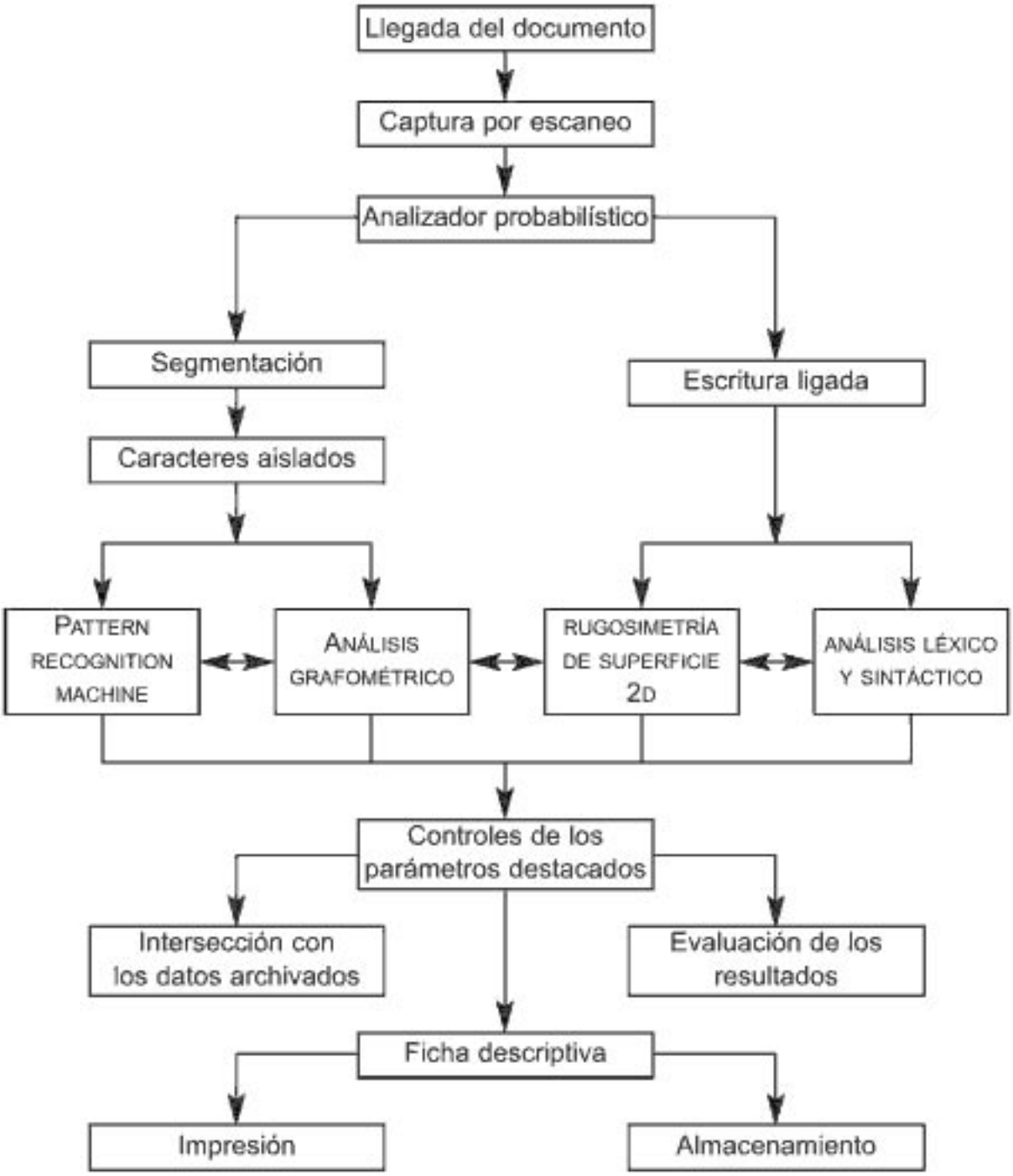


Figura 3.2. — Esquema general del SMP para el procesamiento de los documentos manuscritos y dactilografiados.

Este sistema se crea sobre la base del principio de que debe ser matético, vale decir, susceptible de un aprendizaje dinámico acertado que utiliza una arquitectura "perceptrón multicapas" que permita ajustar las decisiones mediante algoritmos interactivos. Presenta la particularidad de una gran flexibilidad de utilización. En efecto, permite procesar directamente escrituras cursivas espontáneas sin pasar por la fase de segmentación. También puede trabajar sobre caracteres aislados luego de la segmentación. Por ello, permite el procesa-

Copyrighted material

miento de documentos manuscritos que comprendan varios estilos de escrituras: manuscrita escripto y cursiva ligada, bastón y cursiva ligada, porque los discriminantes utilizados para las escrituras ligadas también pueden aplicarse a los caracteres aislados. Comprende:

— Un escáner de alta resolución que permita una digitalización a partir de una matriz de puntos cuyo formato sea de 1 200 x 1 800 píxeles, o sea, 2.1 millones de píxeles en relación armónica con el poder resolutivo del ojo (normal).
— Un analizador probabilístico que comprende un algoritmo de segmentación que decide el borramiento de la porción llamada "trazo de unión", cosa que aísla la letra. El procedimiento de segmentación mediante el algoritmo es complejo, e implica 16 etapas diferentes.
— Dos unidades de procesamiento de letras aisladas:
  - una unidad de reconocimiento de formas PARM (Pattern Recognition Machine) del tipo de la del Profesor Fu (Purdue University Indiana). Las letras aisladas se comparan entonces en el PARM con otras almacenadas en una memoria ROM. El PARM reconoce el 95% de las letras anamorfosadas a partir del abecedario, así como las tres zonas de la escritura manuscrita occidental;
  - una unidad de medidas submilimétricas de las diferentes variables grafométricas con una precisión de 1/10 de milímetro; los valores angulares (la inclinación a la derecha o la inversión a la izquierda de la escritura) se obtienen con ayuda de un trigómetro electrónico que permite la medida de los ángulos sobre 180° de arco con una precisión de 1/10, en fracciones, grados o radianes, así como las funciones trigonométricas correspondientes (seno, coseno, tangente).
— Dos unidades de procesamiento de la escritura ligada no segmentada:
  - una unidad de relevamiento de la rugosimetría de superficie en 2D, para medir los perfiles de escritura, protuberancias y huecos, aparato del tipo "Hommel Tester T20 DC Digital Computer" de la empresa Hommel (Schwenningen). Se obtiene un perfil en 2D con una precisión del orden de algunos micrones.
  - una unidad de reconocimiento léxico y sintáctico que permite evitar los problemas y las dificultades que se deben a la segmentación de las palabras. En efecto, es posible proceder global-

Copyrighted material

mente e identificar palabras (nivel léxico), hasta grupos de palabras (nivel sintáctico), por comparación con las palabras o las secuencias de palabras contenidas en un diccionario adecuado, que se carga en la memoria con ayuda de métodos estadísticos del mismo tipo que los que se utilizan para el reconocimiento de caracteres. También es posible eliminar cierta cantidad de errores sobre la identificación de las palabras utilizando informaciones sobre la lengua considerada: en francés, por ejemplo, es muy raro que una palabra contenga dos *u* sucesivas, o series de tres consonantes.

El nivel sintáctico permite identificar las secuencias de palabras permitidas en la lengua considerada. En el curso de esta fase del análisis, el sistema puede a la vez predecir la o las palabras susceptibles de aparecer en una frase en función de las palabras ya reconocidas, y verificar que el orden de las palabras realmente satisfaga las coerciones gramaticales de la lengua. A veces, el análisis sintáctico es duplicado por el análisis semántico ligado al sentido de las palabras y los conceptos que ellas sustentan.

Por último, el nivel pragmático permite especificar o restringir el sentido de la palabra en función del contexto de la frase y el tema tratado. En los años venideros, los aportes de la lingüística serán un eje esencial de mejoramiento de los sistemas existentes. En consecuencia, vemos que el sistema propuesto debe ser *MATÉTICO,* vale decir, que debe padecer una fase previa de aprendizaje[25] según la naturaleza de los documentos que deben procesarse. No es necesario utilizar el conjunto de las cuatro unidades de procesamiento. En efecto, para las escrituras desunidas (escripto o bastón), a todas luces la etapa de la segmentación debe quedar oculta. En cambio, para las escrituras manuales cursivas ligadas, es interesante efectuar los cuatro procesamientos, para reducir al máximo la tasa de rechazo, aunque en muchos casos esto no sea útil.

[25] La tendencia actual parece privilegiar las aproximaciones *conexionistas* y *markovianas,* es decir, aproximaciones estadísticas que ofrezcan herramientas de aprendizaje eficaces, por oposición a las aproximaciones descriptivas clásicas, incapaces de aprender estructuras a partir de ejemplos. Algunos autores integran la estadística y lo descriptivo a la vez con el objeto de acumular las ventajas de los dos tipos de reconocimiento de formas.

Copyrighted material

4.3. *Los documentos reprografiados o impresos*

Hay que distinguir los documentos reprografiados por xerocopia de aquellos impresos según las técnicas de impresión tradicional (offset, helio, tipo).

4.3.1. Las fotocopias

La utilización intensiva de las fotocopias en la vida cotidiana acarrea un aumento considerable de fotocopias falsificadas, sobre todo por fotomontaje. Por lo demás, la alta calidad obtenida por las copiadoras digitales es tal que a veces ocurre que ya no se pueda distinguir el original de sus copias.

Actualmente, para el blanco y negro, la progresión de las ventas de las copiadoras digitales[26] frente a las ópticas es considerable. A este ritmo, dentro de algunos años, las copiadoras analógicas habrán desaparecido totalmente del mercado.

Caracterización y análisis de los tóner

- *Técnica que no requiere ninguna extracción*

El examen fotomicrográfico se realiza en el microscopio estereoscópico, con utilización, si corresponde, de un cifrado de la granulometría. También es deseable efectuar una detección magnética que permita determinar si el tóner utilizado es de tipo monocomponente o bicomponente.

- *Técnica que requiere extracciones*

Esta técnica pone en marcha la espectrometría infrarroja con transformada de Fourier, que permite identificar compuestos químicos a partir de la naturaleza de los átomos y las uniones que los constituyen. Se obtiene un espectro de absorción que es específico de la composición química del tóner analizado. La comparación con una colección completa y absolutamente al día de espectros de referencia

[26] Para el año 2000, en el mercado blanco y negro, existen 205 modelos digitales, distribuidos en 15 marcas, lo que representa más del 40% del mercado, y 230 modelos analógicos (30 marcas para las copiadoras ópticas). En cuanto al color, la gama comprende 83 modelos (30 marcas).

Copyrighted material

permite una identificación inmediata en el caso de un procesamiento informatizado.

La extracción. Pueden utilizarse diferentes técnicas para extraer el tóner de un documento con fines analíticos:
— por raspado mediante una aguja lanceolada o un escalpelo. Esta técnica presenta el inconveniente de extraer partículas de papel con el tóner;
— por transferencia mediante una hoja microscópica caliente. Este método presenta la ventaja de una extracción prácticamente invisible al ojo, en la que el trazo permanece intacto.

El micropastillaje. En el modo de preparación adoptado, la muestra extraída se mezcla con bromuro de potasio de una manera homogénea. El polvo es presionado mediante un dispositivo que comprende un portaobjeto, un pistón y una contrapastilla. Se obtiene una micropastilla de alrededor de 3 mm de diámetro.

La presión de pastillaje adoptada es del orden de 2 t/cm^2; para esto, la prensa utilizada debe tener una fuerza de 20 t aproximadamente. La micropastilla obtenida se adapta perfectamente al espectrómetro infrarrojo con transformada de Fourier del tipo Nicolet 710, equipado con un detector DTGS (Deuterated Triglycine Sulfato).

• *Determinación de la generación de la copia*

Frecuentemente ocurre que se pregunta al experto si una copia fue obtenida a partir de un original (fotocopia *princeps*) o a partir de otra copia (fotocopia llamada de *enésima* generación).

El examen en microscopio estereoscópico —que remite exclusivamente al contraste marcado o no de los colores lisos, la densidad, la buena definición del trazo y principalmente las faltas— permite responder con precisión al interrogante planteado.

• *Los fotomontajes*

Caso de los copiadores ópticos

En general, están destinados a operar sustracciones o adiciones parciales sobre un documento. La eliminación de ciertos pasajes de un texto o una correspondencia se hace ocultando cuidadosamen-

Copyrighted material

te las menciones del documento original que se quiere hacer desaparecer. Algunos papeles con membrete personalizados (papel preimpreso, papel de textura particular, papel filigranado, etcétera) de una empresa o un particular pueden ser utilizados para realizar falsificaciones cuya apariencia puede engañar a un ojo no entrenado. Esta falsificación es mucho más fácil en el caso de textos dactilografiados. Al utilizar una máquina de escribir, ya sea la misma o una del mismo tipo que la que produjo el original, eventualmente se puede remplazar la o las partes del texto sustraído por otras menciones.

El trasplante de una firma sobre un documento y la transferencia sobre otro documento como cheque, letra de cambio, documento comercial o misiva está al alcance de cualquier persona que tenga a su disposición una fotocopiadora doble faz, y será más fácilmente realizable para un documento en formato 21 x 29.7 cm que para uno más pequeño.

Para un documento formato 21 x 29.7 cm

— hacer un recorte tan preciso como sea posible de la firma que se deba transferir;
— introducir el documento original por la parte de carga manual, hacer una fotocopia;
— la firma que se debe transferir será reproducida en el documento original en el lugar deseado.

Para un documento de otro formato (cheque, letra de cambio, etcétera)

— hacer un recorte preciso de la firma que se deba transferir;
— posicionarla sobre el espejo de la fotocopiadora localizando tanto como sea posible la zona donde debe encontrarse en el documento original;
— sacar una fotocopia;
— ahora tenemos una página blanca sobre la que se encuentra, en fotocopia, la firma que se debe transferir;
— con ayuda de un pegamento tipo caucho, colocar por transparencia el documento original (cheque, letra de cambio, etcétera) sobre la huella fotocopiada de la firma, de manera que esté exactamente posicionada en el sitio reservado a tal efecto;
— cuando el pegamento esté bien seco, por el sitio de carga manual introducir el documento original pegado sobre la huella, dejando la firma que se debe transferir sobre el espejo de la fotocopiadora;

Copyrighted material

— sacar una fotocopia. Ahora tenemos un documento original (cheque, letra de cambio, etcétera), con una firma exactamente posicionada en el sitio deseado.

La utilización de una fotocopiadora cargada con un tóner color puede mejorar considerablemente todavía el aspecto visual de la transferencia.

Caso de las copiadoras digitales

La tecnología digital, ya sea color o blanco y negro, permite manipular y reproducir las imágenes de diversas maneras, en función de las capacidades del aparato. A título de ejemplo, aquí tenemos las posibilidades técnicas de la copiadora Toshiba DP 2460.

• *Zoom X/Y*

La tasa de aumento o reducción puede ser regulada independientemente para el campo horizontal y el vertical.

• *Zoom de 25 a 400%*

La reproducción digital de las imágenes permite alcanzar una zona de zoom mucho más extensa con un solo barrido del original. Las copiadoras analógicas no pueden alcanzar tal tasa de aumento sino realizando copias de copias; la calidad de la copia es mediocre y la operación requiere más tiempo y papel.

• *Las funciones de edición*

Desfase de la imagen de 0 a 15 mm sobre el borde derecho o izquierdo. Esta función, por ejemplo, permite hacer desaparecer la huella de una encuadernación espiral.

Borramiento de bordes de 5 a 20 mm sobre los 4 lados de la hoja, lo que permite hacer desaparecer los bordes desgarrados o manchados de un documento.

Encuadre/enmascaramiento: esta función permite el encuadre o el enmascaramiento de las copias. Resulta posible suprimir un membrete y eventualmente remplazarlo por otro. La misma observación se aplica para la dirección o cualquier otra parte de un documento. Así es posible suprimir sin ninguna dificultad la dirección de una carta o el identificador de un fax.

Copyrighted material

Inversión positivo/negativo: posibilidad de inversión negro sobre blanco y blanco sobre negro del original sobre la copia.

Todas las manipulaciones anteriormente enunciadas son totalmente invisibles con una resolución de 600 dpi (puntos por pulgada) y 250 matices de gris, que garantizan una reproducción fiel y de alta calidad de los originales más difíciles, inclusive las medias tintas.

4.3.2. Los documentos impresos

El perito en escrituras a menudo se enfrenta con documentos impresos (libelo difamatorio, falso membrete, falsa factura, carta de legitimación, pasaporte, etcétera). Para dar respuesta a los problemas planteados por tales documentos, es necesario recordar los principales procedimientos de impresión tradicionales, todos los cuales utilizan la fotografía para la reproducción de originales en medias tintas. Pero la trama no representa el mismo papel, según el momento en que interviene en las operaciones de foto o reporte.

- *Las diferentes técnicas tradicionales de impresión*

Los procedimientos en relieve, como la tipografía y la flexografía, están ampliamente extendidos. La imagen es reproducida por tramado. En la medida en que las áreas de la trama forman *degradés,* no es preciso modificarlas en el curso de la impresión, de donde surge el empleo de tintas grasas o de secado lento.

Los procedimientos en hueco, como el heliograbado y la talla dulce, se utilizan para las obras de lujo. Apelan a una trama cuyo papel no es dividir la imagen en puntos sino fraccionarla en alvéolos. Por tanto, el procedimiento no es óptico sino mecánico. Las tramas de heliograbado presentan una estructura característica: las pruebas tramadas que se observan con cuentahilos hacen aparecer un puntillado específico para cada tipo de trama utilizada.

Los procedimientos planos (planografía), como la litografía, la fototipia y el offset, son los que más se utilizan hoy en día. La impresión se hace tras una etapa intermedia de transferencia de la imagen, invertida sobre una mantilla flexible. En general, la trama offset puede ser identificada bajo un fuerte aumento.

Copyrighted material

• *Distinción de las técnicas de impresión*

No siempre es fácil distinguir el tipo de impresión de un documento, cuando no se es un profesional avezado. El diagnóstico se efectúa con ayuda de un cuentahilos o, mejor aun, con microscopio. La observación debe dirigirse a los colores lisos y las zonas con medias tintas. La impresión tipográfica está caracterizada por una estela que se debe al relieve del cliché, y los trazos están bordeados de un rodete más oscuro. La impresión en heliograbado es muy reconocible en los puntos de trama bien delimitados que corresponden a los alvéolos del cilindro. Para el offset, la nitidez de los trazos es mucho mayor; los bordes son nítidos y tajantes. Por último, la impresión serigráfica (pantalla de seda) da colores intensos y puros. Cualquiera que sea el procedimiento de impresión, la observación debe dirigirse a los textos (impresión del trazo) y las zonas de medias tintas (impresión símili). En este último caso, el examen del puntillado (trama) viene a confirmar el diagnóstico.

Para las impresiones en símili, fácilmente se determina la lineatura de la trama empleada mediante un lineómetro diferencial de Servais, pequeño dispositivo constituido por un transparente rayado de líneas negras divergentes. Aplicado sobre el documento, dibuja un tornasolado que presenta un aspecto de hipérboles, a lo largo de una escala que lleva los números de lineaturas (líneas por pulgada o por centímetro). Esto permite determinar el número de la trama utilizada en el fotograbado.

4.4. *Los documentos escritos y transmitidos a distancia*

Existen diferentes medios de transmisión a distancia: télex, fax, teletex y mensajerías.

Sólo nos ocuparemos de los medios más utilizados en la actualidad: el fax, el correo electrónico (e-mail) en Internet y la carta virtual.

4.4.1. El fax

El boom del fax se debe a su relación rapidez/precio; en efecto, es mucho más barato que el correo postal, y la transmisión es casi inmediata.

La concepción de los fax, sin ninguna dificultad, permite modificar parcial o totalmente su aspecto mnemónico o crear documentos ficti-

Copyrighted material

cios o simplemente efectuar una duplicación. Hasta los fax de gama baja tienen una función de fotocopiadora en impresión térmica.

La identificación de un fax, de hecho, reside en la caracterización del tipo de impresión (térmica o transferencia térmica), y no plantea problemas particulares cuando el examen se remite a los documentos originales. En efecto, recordemos que la impresión térmica utiliza un papel tratado (papel térmico), mientras que la transferencia térmica utiliza un papel común y una cinta térmica. Señalemos que la deformación del trazo de los documentos recibidos resulta, por un lado, de los pulsos telefónicos durante la transmisión y, por el otro, de la tecnología de impresión del aparato receptor.

En la práctica, la deformación es muy importante para los faxes térmicos, poco para los fax chorro de tinta y casi desdeñable para los láser. Por ello, la observación del trazo con un microscopio estereoscópico es un medio de identificación del fax receptor.

En cuanto a la metodología, remitimos a las obras especializadas en la tecnología de las impresoras.

4.4.2. El correo electrónico (e-mail) en Internet

Desde algunos años atrás, el correo electrónico, vía Internet, se ha convertido en un verdadero fenómeno social. En efecto, 3 mil millones de e-mails son intercambiados cotidianamente en el mundo por 300 millones de internautas. Un estudio reciente del Yankee Group señala que el correo electrónico constituye más del 70% de las aplicaciones de Internet.

Lo que hay que tener presente es que, como el teléfono celular, uno puede ser localizado por sus ciberactividades. En efecto, cada una de las operaciones deja una huella en la caja de recepción de su mensajería. Por ejemplo, cuando se suprime un e-mail, va a parar a los "elementos suprimidos".

Sin embargo, todavía es posible recuperarlo. En cambio, si se vacía la papelera de su mensajería, las huellas se pierden para siempre.

También se conocen los *cookies*, esos pequeños ficheros que están en su disco duro sin que usted lo sepa y que permiten conocer sus actividades en la red. Siempre es posible desactivarlos. Hace muy poco, especialistas en informática de la Universidad de Princeton pusieron de manifiesto una falla que permitía espiar la memoria caché de su computadora, donde están registradas todas las conexiones y sitios vi-

Copyrighted material

sitados. La técnica, bautizada *timing attack*, descansa en el modo operacional siguiente: usted se conecta a un sitio que practica esa técnica y, sin que lo sepa, un programita en Java, que no deja ninguna huella sobre el disco duro, se introduce en su máquina y se pone a husmear un poco por todas partes. En un futuro cercano, los programas de navegación deberán detectar este tipo de espionaje para conservar la confidencialidad.

Por otra parte, es posible enviar e-mails anónimos utilizando un sitio adecuado cuyo servidor se encargue de la expedición, borrando el encabezamiento del identificador.

Por último, atención a los ataques virales. Desde fines de octubre de 2000, un "gusano" bautizado Sonic[27] se difundió por e-mail. Presenta la particularidad de modificar su acción cargando él mismo nuevos archivos en la página web de su autor. Sonic está compuesto de dos partes: un módulo de instalación y otro que contiene el código perverso.

Únicamente el módulo está presente en el archivo Girls.exe de 25 kb unido al e-mail infectado. Activado por un doble clic, el programa Girls se instala en el sistema de manejo en el interior de la base de registro de Windows. Desencadena entonces una conexión internet para ir a cargar el segundo módulo y ponerlo en actividad en la computadora que lo aloja. Una vez en su lugar, Sonic abre una puerta oculta (*backdoor*) que pone a la computadora en relación con la del pirata, para cargar los programas nefastos: destrucción de los archivos del sistema y el contenido del disco duro, acceso a la agenda de direcciones o Outlook para enviar automáticamente mensajes titulados *"choose your poison"*, que contienen el archivo Girls.exe adjunto.

Hoy en día comprobamos que los "hackers" se interesan en los servidores que albergan mensajerías importantes como las de France Telecom Cable en Burdeos, Virgin en Gran Bretaña y el servidor Hotmail de Microsoft. Cuando un servidor es pirateado, cualquiera puede leer los e-mails. Hay que recordar que, para la reglamentación francesa, un correo electrónico es asimilable a un correo en papel, y

[27] El primer ataque de este tipo de virus, denominado "I love you", o, más bien, "Loveletter", se autodespachó por intermedio de las agendas de direcciones. Hizo enormes estragos a comienzos de 2000. Se descubrieron una veintena de mutaciones, o sea, variantes del gusano, una cepa de los cuales se oculta en falsos antivirus que actualmente circulan en la Red.

Copyrighted material

por tanto está cubierto por el secreto de las correspondencias privadas (artículo 226-15 del Código Penal).[28]

Los virus informáticos pueden atacar también a los teléfonos celulares wap por intermedio de la conexión internet. El pirateado de números personales, la escucha de conversaciones, el desvío de transacciones o monederos electrónicos parecen teóricamente posibles. Por eso un editor finlandés acaba de sacar el primer programa de protección antivirus por teléfono, el WAP-F-Secure, porque el riesgo cero no existe.

4.4.3. La carta virtual

El Correo acaba de inventar la "cibercarta". Usted escribe la carta en su computadora, pero en vez de imprimirla y ponerla en un sobre, con un clic del mouse la despacha a la oficina postal vía Internet. Ésta se encarga de imprimirla y hacerla llegar a su destinatario por la vía tradicional (carta simple o certificada).

También es posible despachar un fax por Internet para los particulares que no tienen uno a mano. La carta virtual constituye una nueva etapa hacia la desmaterialización del correo, tras la adopción de la firma electrónica (ley número 2 000-230 del 13 de marzo de 2000).

4.4.4. La carta certificada electrónica

Cuando se envía un correo electrónico vía Internet, ocurre que no siempre uno está seguro de que realmente haya llegado a su destinatario. Esto puede plantear problemas en el marco de las relaciones comerciales, profesionales o jurídicas. El principio es simple, basado en la utilización de un tercero confiable, conectándose con el sitio "lettrerecommandee.com" o "lr-ar.com". Tras haber despachado su e-mail, usted recibirá una copia correspondiente a la factura de depósito que remite el empleado del correo. Cuando el destinatario haya tomado conocimiento de su mensaje, usted recibirá un acuse de recibo electrónico. Este protocolo ya existe con algunos programas de mensajería, sobre todo Outlook de Microsoft, pero los acuses de recibo no tienen ningún valor legal.

[28] Según el artículo 226-15 sobre el atentado al secreto de las correspondencias, el hecho de desviar, abrir, suprimir o revelar su contenido es pasible de un año de prisión y 300 000 francos de multa.

Copyrighted material

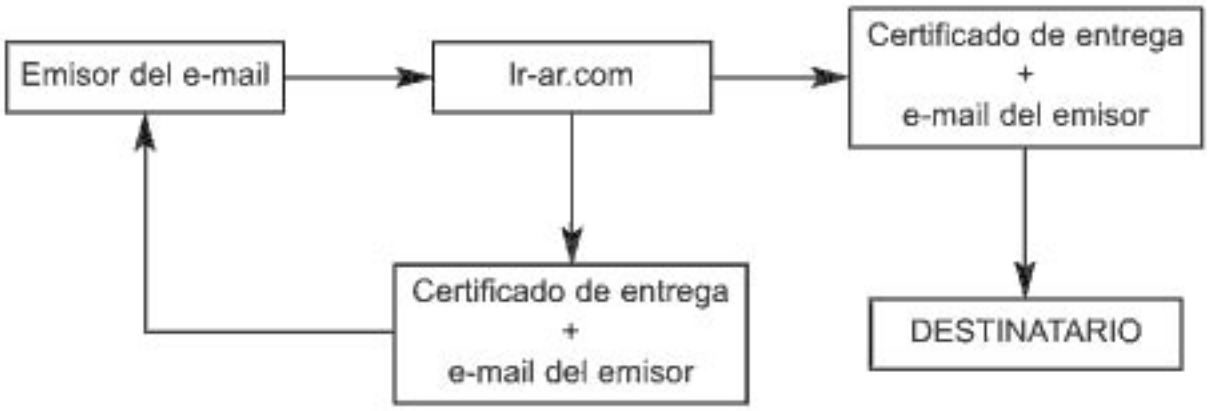


Figura 3.3. — Las diferentes etapas
del circuito de la carta certificada electrónica.

La utilización de un tercero confiable viene a colmar las lagunas de la ley número 2 000-230 del 13 de marzo de 2000 sobre la firma electronica,[29] que en el artículo 1 316-1 del Código Civil estipula que "el escrito en forma electrónica es admitido como prueba de la misma manera que el escrito sobre soporte papel, a reserva de que pueda ser debidamente identificada la persona de la que emana y que sea establecido y conservado en condiciones que garanticen su integridad".

5. LOS RASTROS, MANCHAS, RESTOS

Los rastros, manchas y restos en el sentido más amplio podrían incluir todos los indicios de la prueba material:

• *Los rastros indeterminantes*

Son sobre todo de naturaleza química, constituidos por las manchas y los restos. De hecho, se trata de una muestra de sustancia que autoriza una caracterización, hasta un análisis más fino o más completo.

Estos elementos pueden tener un origen biológico (humano, animal, vegetal), o uno mineral u orgánico.

Se los califica como indeterminantes porque no muestran la relación que los une al autor. Si la identificación segura resulta imposi-

[29] La ley del 13 de marzo de 2000 entró en vigor mediante el decreto nº 2 001-272 del 30 de marzo de 2001 en aplicación del artículo 1 316-4 del Código Civil, relativo a la firma electrónica.

Copyrighted material

ble, no obstante ofrecen a la investigación informaciones orientativas que pueden ser primordiales.

• *Los rastros determinantes*

A la inversa de los precedentes, son de naturaleza física, o sea, sin un depósito de materia que no se preste más que a un estudio de superficie. Sobre todo, son producidos por frotamiento, raspado, arrancamiento, etcétera, y son determinantes porque conservan una relación interpretable con el hombre o el objeto, permitiendo así su identificación.

Según su naturaleza, se distribuyen en rastros instrumentales, vestimentarios, individuales.

Figura 3.4. — Los rastros dejados por el entorno sobre el individuo, o las modificaciones morfológicas que se deben a su oficio, facilitan en gran medida la identificación. Los dientes, las manos, la piel, la ropa, denuncian ya las costumbres o actividades de cualquiera. De hecho, lo que toma valor de prueba es la acumulación de varios indicios. Uno solo no basta.

En ocasiones, el indicio está constituido por una asociación mancha-rastro. Como ejemplo, el caso de una huella procedente de un dedo manchado de sangre, y cuyo potencial de interés es doble, remitiendo sobre la naturaleza y la manera en que se produjo a la vez.

Copyrighted material

5.1. *Manchas y restos biológicos*

Entendemos por "manchas" las que provienen de los líquidos corporales, y por "restos" los excrementos, pelos y cabellos.

5.1.1. La sangre

La búsqueda e identificación de manchas de sangre a menudo presentan dificultades en virtud de su débil dimensión, del color, que se atenúa con el envejecimiento, y del tinte del soporte que en ocasiones las oculta. Tras extracción acuosa de la mancha, la sangre se reduce al estado de líquido hemático, y puede producirse una confusión con otras manchas de aspecto similar (óxido, jugo de frutas, pintura, etcétera).

Existen diferentes reacciones de orientación para caracterizar la sangre. La reacción de certeza se realiza en espectroscopia ultravioleta sobre el hemocromogéneo alcalino obtenido por el efecto de un reductor sobre la sangre. Este método permite descubrir rastros del orden de algunos microgramos, y constituye una verdadera firma por dos bandas de absorción.

También es fácil determinar si se trata de sangre humana con una reacción serológica (test de Coombs).

La determinación de la identidad grupal o grupo sanguíneo, el sistema ABO, se explica por la presencia o ausencia en la sangre de dos antígenos llamados por convención A y B.

Existe una diferencia y una incompatibilidad de los glóbulos y los sueros que conduce a la aglutinación que se debe a una propiedad particular de los glóbulos rojos llamada aglutinógena. La reacción se produce si el suero puesto en contacto con los glóbulos posee a su vez una propiedad aglutinante frente a tal o cual aglutinógeno; es la aglutinina.

Así, existen dos aglutinógenos A y B y dos aglutininas anti-A y anti-B.

La presencia de dichos aglutinógenos y aglutininas conduce a la determinación de los grupos sanguíneos.

La aglutinación se produce si la aglutinina antagonista está presente. Por ello, mediante el juego de sueros-tests anti-A y anti-B y los glóbulos sensibilizados A y B, es posible determinar el grupo al que pertenece la sangre.

Copyrighted material

Sangre	*Suero-test*	*Glóbulos sensibilizados*	*Resultados*	*Grupo*	*Anticuerpos en el suero*
Glóbulos	Anti-A		–	0	Anti-A + Anti-B
	Anti-B		–		
Suero		A	+		
		B	+		
Glóbulos	Anti-A		+	A	Anti-B
	Anti-B		–		
Suero		A	–		
		B	+		
Glóbulos	Anti-A		–	B	Anti-A
	Anti-B		+		
Suero		A	+		
		B	–		
Glóbulos	Anti-A		+	AB	Ninguno
	Anti-B		+		
Suero		A	–		
		B	–		

CUADRO 3.2. — Determinación del grupo sanguíneo.

Existen otros sistemas secundarios (Rh, Lewis, Kell, Duffy, Didd, etcétera) a los que no se recurre. En efecto, las manchas en examen jamás corresponden a manchas bien nítidas depositadas sobre soportes bien limpios, lo que puede acarrear riesgos de error.

5.1.2. El esperma

La identificación de las manchas de esperma comprende las mismas fases que la de la sangre. La orientación puede efectuarse con la lámpara de Wood, porque el esperma presenta una fluorescencia en UV corto (254 nm). Sin embargo, muchas sustancias se iluminan por fluorescencia en la misma longitud de onda.

La certeza se obtiene con reacciones *cristalográficas* (Barberio), *enzimáticas* (fosfatasa ácida), y por la verificación, *in situ*, de espermatozoides. En el microscopio, tras coloración celular (con eritrosina amoniacal y azul de metileno), los espermatozoides se caracterizan por su doble coloración, y por su tamaño y forma tan peculiar.

La comparación de estos métodos evita el riesgo de error: en efecto, el esperma fresco puede dar reacciones cristalinas negativas o no encerrar espermatozoides (en caso de azoospermia, por ejemplo).

Copyrighted material

5.1.3. La saliva

La existencia de la saliva se lleva a cabo a través de la manifestación de la presencia de una enzima. La α-amilasa contenida en la saliva tiene la propiedad de hidrolizar el almidón, que es muy poco reductor, en una sucesión de productos.

La caracterización de la saliva en un soporte cualquiera es detectada gracias al test almidón-yoduro, que pone en marcha una solución yodo-yodurada.

La hidrólisis progresiva pasa por fases de las diversas dextrinas (amilodextrina, violeta con el yodo; eritrodextrina, roja con el yodo; acrodextrina, incolora o levemente amarilla con el yodo). Se detiene en la fase de la maltosa (glucósido-glucosa), mientras que la hidrólisis ácida desemboca en la glucosa.

En presencia de saliva (y por tanto de enzima), el almidón no es hidrolizado y su carácter analítico fundamental es entonces dar, con la solución yodo-yodurada, una coloración azul que desparece en caliente (reacción negativa).

5.1.4. El sudor

El sudor posee una composición cualitativa en electrólitos bastante cercana a la de la saliva pero no en el plano cuantitativo. En cambio, tanto las manchas de sudor como las de orina pueden ser ácidas o básicas según su antigüedad o según diversas causas (alimentación, estado de salud, etcétera). La caracterización se realiza mediante un tratamiento ácido seguido de uno oxidante (ácido oxálico, agua oxigenada).

5.1.5. Búsqueda del grupo de secreción

Como lo vimos en el capítulo 3, § 5.11, las muestras de sangre humana pueden clasificarse en cuatro grupos. Por lo demás, se ha observado que las características de los grupos sanguíneos se extendían a todas las secreciones: esperma, saliva, orina,[30] sudor, lágrimas, secreciones vaginales, leche materna, etcétera.

Los métodos de búsqueda de los grupos de secreción están basados en el principio según el cual la mayoría de los sujetos "secretores" (el

[30] La orina, que contiene un 98% de agua, puede ser caracterizada por una solución de picrato alcalino (reactivo de Jaffé) o por el ácido fosfotúngstico (reactivo de Richaud).

Copyrighted material

80% de los individuos) expresan, en el nivel de sus secreciones, y particularmente la saliva, el mismo grupo ABO que el encontrado en los glóbulos rojos. Por tanto, en esos secretores, es posible identificar su grupo ABO según sus diversas secreciones.

Además de su antígeno A o B específico, todos los sujetos secretores expresan el antígeno H(O), antígeno que constituye el esqueleto fundamental de las sustancias de los grupos sanguíneos, al tiempo que es el atributo específico de los antígenos secretados.

Hay dos métodos de determinación:

- *El método por absorción e inhibición,* que consiste en buscar la disminución de la dosificación de un suero estandarizado anti-A, anti-B y anti-H(O), en función de la presencia de antígenos homólogos sobre el substrato por examinar.

  Para ello, se utilizan dos series de sueros, uno que contiene los anti-A, el otro los anti-B, en concentraciones diversas y conocidas. A cada uno de dichos sueros se añade una fracción de la muestra y se deja que sus aglutinas reaccionen con los aglutinógenos de este último, implicando esta reacción la absorción de aglutininas por los aglutinógenos.
- *El método por absorción y elución,* en el cual se mezclan a los sueros anti-A y anti-B (eventualmente también anti-H) las muestras que se deben analizar, cuyos aglutinógenos absorben entonces, como en el método precedente, las aglutininas de los sueros. Pero esta vez, el excedente eventual de aglutininas es eliminado, mientras que las aglutininas absorbidas se extraen mediante un procedimiento adecuado y se tratan con una suspensión de glóbulos rojos conocidos. También aquí, se identifica el grupo de la muestra observando si hay o no aglutinación. Pero, contrariamente al método por absorción e inhibición, aquí el acontecimiento significativo es la aglutinación en ciertas pruebas de suero.

5.1.6. Excrementos humanos

La composición de las materias fecales dependen del régimen alimentario y la edad del individuo. Aunque el aspecto de las manchas de color amarronado o verduzco pueda ser confundido con el del *meconium* del recién nacido, un examen en microscopio permitirá la diferenciación a través de la localización de los elementos característicos.

Copyrighted material

5.1.7. Los pelos y cabellos

Los pelos son indicios frecuentemente encontrados en el lugar del crimen o accidente, en virtud de su gran resistencia a los agentes exteriores.

Al examen microscópico, un pelo humano no puede ser confundido con fibras textiles de origen animal (seda), vegetal (algodón, lino), artificial (viscosa, acetato) o sintética (nailon, rilsán, tergal...). En efecto, en el plano morfológico, su estructura concéntrica está constituida por dos envolturas: la corteza adentro, la cutícula afuera, ajustadas sobre una médula central (*medulla*).

La médula es un cordón cilíndrico continuo o discontinuo. La corteza, o sustancia cortical, es la sede del pigmento. La cutícula está constituida por una delgada capa de células, que se entrelazan como escamas, cuyo borde libre está dirigido hacia la extremidad libre del pelo.

El origen humano o animal de un pelo puede ser determinado mediante el examen de diversas observaciones:

— el diámetro medio de 50 a 125 µ, que puede ser medido con ayuda de un micrómetro ocular;
— el aspecto bajo el aumento de un microscopio de la *medulla cortex cuticule*, que difiere notablemente en el hombre y el animal;
— la determinación del indicio medular,[31] que siempre es inferior a 0.30 en el hombre y superior a 0.50 en la mayoría de los animales.

Por último, señalemos que es posible determinar el origen animal de un pelo y su especie (gato, perro, conejo, etcétera).[32]

Por lo que respecta al cabello, la microscopia electrónica de transmisión o barrido permite un estudio sutil de la estructura. No obstante, resulta prácticamente imposible distinguir un cabello de hombre de uno de mujer tan sólo por la estructura de su constitución. Sin embargo, existen otros criterios: el color, el diámetro del tallo, el indicio medular, su grado de blanqueo, la presencia de tintura o coloración constituyen informaciones útiles para la identificación.

Señalemos también la sección ovalada del cabello entre los individuos de raza blanca, mientras que es elíptica entre los de raza negra.

[31] El indicio medular es la relación: diámetro medular medio/diámetro medio del pelo.

[32] Existen atlas de identificación micrográfica de los pelos.

Copyrighted material

Por último, el examen de la raíz permite decir si el cabello o el pelo fue roto o arrancado o si simplemente se cayó.

Es posible identificar un cabello con su bulbo por el análisis grupal ABO (método de absorción-elución) o, mejor aun, mediante la tipificación del ADN (huellas genéticas).

Desde una decena de años atrás, el análisis toxicológico a partir de una muestra de cabellos permite obtener una información a largo plazo: de varias semanas a varios meses sobre el consumo o la exposición de un individuo a xenobióticos. En esto, este método se opone a los análisis de orina clásicos, cuyo tiempo de detección es generalmente de dos a tres días. En el análisis, los tests capilares permiten detectar precisamente las anfetaminas, los corticoides y los anabolizantes, lo que no ocurre con el EPO o la hormona de crecimiento.

5.1.8. La carne y los huesos

Se trata de todos los restos orgánicos que pueden encontrarse más o menos alterados, resecos, ya sea por un descuartizamiento, una incineración criminal, en la ojiva estallada de un proyectil, o en las piezas mecánicas de un vehículo como consecuencia de un accidente de ruta.

En cuanto a la carne, antes de cualquier estudio debe ser rehidratada para que pueda prestarse a los exámenes ulteriores, citológicos o histológicos.

Para los huesos, tras una operación de blanqueo, el examen en microscopio permite ver una disposición de células alrededor de ejes vasculares. Precisamente sobre el aspecto, dimensión y distribución de tales sistemas pueden fundarse esperanzas para la identificación de la especie en debate.

5.2. *Manchas y restos no biológicos*

5.2.1. Las diversas manchas

Por "manchas diversas" entendemos las manchas que proceden de sustancias minerales u orgánicas de origen doméstico. El autor propone una clasificación en catorce familias, cada una de las cuales puede ser fácilmente verificada mediante una reacción de caracterización basada en la solubilidad específica del o los constituyentes de cada familia.

Copyrighted material

Naturaleza	*Principales manchas (agrupadas por familia)*		*Ejemplos (no limitativos)*
Constituyentes únicos	mineral	Productos ácidos minerales	Ácidos nítrico, fosfórico, sulfúrico, clorídrico…
		Productos alcalinos	Amoníaco, destapador (soda), decapante de pintura (potasa)
		Metales pulverulentos o sales metálicas	Plata, estaño, cinc, óxido, verdín…
		Metaloides	Yodo (tintura)…
	orgánico	Ácidos orgánicos	Ácido pícrico, cítrico y acético (vinagre)…
		Cuerpos grasos	Vela, aceite, parafina, fuel-oil…
Constituyentes múltiples	minerales	Metales dispersos o sales metálicas	Tintas para plumas (sales de hierro, sales de cloruro, campeche)…
		Materias minerales coagulables	Barro de campo (alcalino), barro de ciudad (ácido)
	orgánicos	Materias orgánicas coagulables	Huevo, leche y derivados
		Soluciones o geles (azúcar + colorantes naturales o artificiales)	Caramelos, confituras, tortas, gelatina, limonadas, licores…
		Soluciones, emulsiones o dispersiones en medio acuoso de materias colorantes	Cerveza, café, cacao, chocolate, flor, alheña, hierba, jugos de fruta, jugos de durazno, legumbres, té, vino…
		Soluciones, emulsiones o dispersiones en medio acuoso de materias colorantes sintéticas	Tintas, mercurocromo, tinturas para el cabello…
		Soluciones, emulsiones o dispersiones en medio graso, mineral u orgánico	Lubricantes usados, betún, fondo de tinte, tinta de imprenta, masilla, carmín…
		Soluciones, emulsiones o dispersiones en un solvente orgánico (acetato, resina)	Pintura, laca, barniz celulósico, barniz de uñas…

CUADRO 3.3.—Clasificación de las diversas manchas.

Copyrighted material

5.2.2. Los restos diversos

• *Los suelos*

Ya se trate de tierra, barro, arena, yeso, etcétera, estos elementos podrán ser encontrados en zapatos, ropa, en ocasión de diversos casos.

El estudio de las tierras, barros, etcétera, puede hacerse mediante análisis térmico, que indicará las diferencias de comportamiento de una tierra como resultado de fenómenos debidos al calentamiento (descomposición, deshidratación, oxidación, etcétera).

Este análisis puede ser *termoponderal,* permitiendo seguir las variaciones de peso padecidas por la sustancia calentada, o *termodiferencial,* comparándose las variaciones de temperatura de la sustancia, debidas a cambios de estado, con una sustancia de referencia que no padece ninguna transformación en el curso del calentamiento.

El análisis térmico diferencial puede ser completado con un análisis químico ponderal que determine la índole de los constituyentes en calidad o cantidad. La microscopia electrónica de barrido dará en imágenes el aspecto morfológico de los elementos. Por último, un estudio microbiológico podrá identificar la presencia de los microorganismos que encierra (bacilos, bacterias, mohos).

• *Los textiles*

Los soportes textiles descubiertos en el lugar, en los vehículos,[33] sobre o en casa de un sospechoso, pueden estar constituidos por tejidos, paños, fibras e hilos, así como los cordeles, cuerdas y cables en ocasión de:

— *un homicidio:* por sofocación o estrangulación: la mordaza, las sogas serán entonces extraídas luego de ser fotografiadas;
— *una lucha:* botones y fragmentos de tejidos arrancados a la ropa del autor;
— *robo:* en el curso del escalo o la efracción, el autor abandona sin saberlo, como resultado de un desgarrón, un fragmento de su ropa;
— *accidente en la vía pública:* donde las partes salientes de un vehículo pueden arrancar algunas fibras textiles a la ropa de la víctima.

[33] Parece interesante señalar que los tejidos sintéticos que recubren los asientos de los autos tienen una capacidad de retener las fibras de la ropa, cabellos o pelos aislados del conductor o los pasajeros y diversas partículas que son otros tantos indicios que pueden hacer avanzar la investigación.

Copyrighted material

La comunidad de origen de los textiles (tejidos, cuerdas, hilos) se determinará mediante el estudio:

— de sus constituyentes:
  — *fibras naturales de origen animal:* lana, conejo, camello, cabra (mohair), seda;
  — *fibras naturales de origen vegetal:* algodón, lino, cáñamo, ramio, yute sisal, retama;
  — *fibras artificiales:* celulosa regenerada (rayón, fibrana), hilos y fibras cupro y polinósicas;
  — *fibras sintéticas:* poliamidas (nylon, perlón, rilsán), poliéster (tergal, terilene, dacrón), polivinílicas (rovil, termovil), poliacrílicas (crilor, orlón), polietilenes (velón LP), copolímeros (vinión, colerene, sarán);
  — *fibras minerales:* amianto, turba, vidrio textil, siliona (hilos continuos) y verrana (fibras discontinuas), y los hilos metálicos;
  — *fibras high-tech* destinadas a la realización de "tejidos para todo uso" por encapsulación de un principio activo (perfume, medicamento, antiséptico, agente bactericida o acaricida, fotocromo, etcétera, que será liberado *in fibro* mediante microcápsulas en polímeros que contienen una gotita de producto.

Las reacciones de caracterización o disolución específica confirmadas mediante un examen en microscopio óptico y polarizador permiten en principio una identificación formal de las fibras. En caso de duda, puede recurrirse al microscopio electrónico de barrido.

— de sus características de fabricación: cantidad de elementos (hilo simple, retorcido o cable), sentido de torsión (S o Z), modo de ensamblado, armadura de tejido, urdimbre, bordes, etcétera.

• *Las materias plásticas*

La identificación de las materias plásticas que se presentan en forma de materiales simples o compuestos en hojas presenta cuantiosas analogías con el método de reconocimiento de las fibras artificiales o sintéticas. Para la metodología, remitimos a un artículo que recapitula los métodos clásicos de identificación.[34]

[34] Buquet, A., Méthodes pratiques d'identification des matériaux simples ou composites en feuilles et d'analyses de leurs constituants, *Rev. int. pol. crim.*, 357, 1982.

Copyrighted material

En la mayoría de los casos, la espectrometría infrarroja permite caracterizar rápidamente la naturaleza del film plástico. No obstante, para quienes no poseen tal instrumental o la colección de los espectros de referencia, existe una serie de tests simples que permitirán identificar el material. Están basados en:

— *la apariencia:* la observación visual y el examen de las características mecánicas: resistencia al estirado, la flexión, el desgarro, etcétera;
— *la inflamabilidad:* test de combustión, o sea, observar cómo arde el material;
— *la pirólisis:* comportamiento y resistencia del material si se calienta a la llama en un tubo de ensayo: visualizar los vapores y sentir el olor desprendido por el pirolisado;
— *una reacción específica* para un elemento o un grupo químico determinado;
— *la solubilidad en diferentes solventes:* se efectúa este test añadiendo el solvente al material en un tubo de ensayo. Muchos polímeros no se disuelven sino, simplemente, se hinchan. La resistencia de los materiales compuestos obtenidos por laminación en ciertos solventes (piridina, tolueno, etcétera) es una característica interesante. La deslaminación, el plegado, el fruncido o la disolución de uno solo de los constituyentes pueden ser una indicación muy útil.

Estos tests también son aplicables sobre materias plásticas obtenidas mediante otras técnicas y fabricación (inyección, moldeado, extrusión, proyección...).

En el caso particular de las bolsas plásticas utilizadas para el transporte de cadáveres o estupefacientes, que generalmente están cerradas con ayuda de una cinta adhesiva —cintas que por lo demás son apreciadas por los terroristas para fijar el detonador a la carga explosiva—, un estudio técnico debe comprender:

— *exámenes métricos:* peso/m^2, espesor, ancho (anchura de corte, etcétera);
— *una caracterización química del soporte:* (film): polipropileno, PVC, poliéster, etcétera;
— *un análisis del film:* (naturaleza del polímero, por espectrometría y absorción en el infrarrojo);
— *un estudio fotométrico* por densitometría del material (color, cantidad de adhesivo depositado);

Copyrighted material

— *un análisis atómico del adhesivo:* por cromatografía gaseosa acoplada a la espectrometría de masa.

También es posible analizar el conjunto (soporte + adhesivo) por espectrometría de fluorescencia X.

• *Fragmentos de vidrio*

En la mayoría de las efracciones y escalos, o en los accidentes de circulación, no es raro que los investigadores encuentren en el lugar pequeños trozos de vidrio chato (vidrios de ventana) o pedazos procedentes del parabrisas, faros u otros accesorios del automóvil.

Los fragmentos de vidrio pueden ser identificados por vía física (densidad, índice de refracción) o analítica (espectrometría X, activación neutrónica, microscopia electrónica de barrido, etcétera).

En muchos laboratorios de policía técnica y científica, la determinación del índice de refringencia de los fragmentos de vidrios por inmersión en un baño de aceite, de índice de refracción conocido (oleorrefractometría), es un método muy válido, pero de una realización delicada.

5.3. *Rastros o huellas*

Los rastros determinantes en sí poseen diversos orígenes. Pueden ser producidos por un ser humano o un objeto.

5.3.1. Los rastros de herramientas

Los rastros instrumentales pueden ser clasificados cómodamente según la naturaleza del instrumento que los produjo: resultan de la acción de herramientas o instrumentos que producen aberturas por su propio destino (pinza, palanca, ganzúa), por improvisación (destornillador, tijera de madera, cruz de neumáticos), cortantes (cizalla, podadera), punzantes (mecha de madera, taladro, sacabocados), percutantes (diversos punzones, escoplos), o, incluso, en ocasiones, máquinas herramientas (perforadora, fresadora...).

En caso de que se haya requisado el instrumento, se realiza una fotografía (pieza de comparación) que será yuxtapuesta al mismo informe gráfico con la fotografía del rastro sobre el lugar (pieza problema).

Copyrighted material

También es posible utilizar un moldeado cada vez que el rastro ofrezca un relieve suficiente.

5.3.2. Las huellas de suelas o neumáticos

Las huellas del pie generalmente suministran indicios muy serios que en ningún caso hay que subestimar, aunque las suelas se fabriquen en serie. De entrada, cada marca de zapatillas deportivas posee un dibujo de suela que le es propio. Por otra parte, cada usuario tiene un andar diferente que muestra un desgaste particular. En algunos casos, el desgaste puede representar un papel determinante en la identificación de un individuo.

Una vez descubiertos los rastros, hay que levantarlos. Deben ser o fotografiados, o moldeados con una pasta especial (para modelar, silicona...). Antes del relevamiento, los cuerpos extraños como piedras, pequeñas motas de tierra u hojas serán quitados con precaución.

Como el moldeado es una operación que resulta delicada para que sea realmente exitosa, ahora se utiliza un detector que reconstituye los dibujos de las suelas.

El aparato se compone de un generador de electricidad estática, un contactor conectado por un hilo eléctrico a un transformador y una hoja, una de cuyas caras está metalizada y la otra enduida de una sustancia negra que le da el aspecto de una hoja de papel carbónico. El especialista (en el caso, el TSC o el TIC) dispone la hoja sobre un tapiz, una alfombra, o cualquier otro revestimiento del suelo sobre el cual desee levantar una huella de paso invisible a simple vista. Lado negro contra el piso. Luego, en las cuatro puntas del lado metalizado, apoya el contactor. La electricidad estática aplasta la hoja contra el tapiz. Las partículas de polvo o de barro de la huella son entonces como imantadas sobre la cara negra. A los investigadores no les queda más que leer el dibujo formado por las estrías.

Los rastros dejados por los neumáticos de los vehículos también presentan un gran interés. Se procede de la misma manera que para las huellas de las suelas.

El relevamiento difiere según se trate de huellas encontradas sobre una tierra transportable o rastros dejados sobre el asfalto o un suelo pintado con tratamiento antipolvo, por ejemplo, de los estacionamientos.

Copyrighted material

5.3.3. Los rastros de las pinturas de automotor

La criminalística moderna también se interesa en los microrrastros de pintura que pueden ser determinantes en los accidentes de circulación con fuga delictiva del responsable. Cuando hay contacto entre dos vehículos puede producirse una transferencia de pintura de un auto a otro, cuya cantidad a menudo está en relación directa con la intensidad del contacto.

El estudio comienza con un examen óptico clásico. El fragmento incriminado se compara con la lista de colores de los constructores, lo que permite limitar rápidamente la búsqueda a algunos tipos de vehículos. Un examen estratigráfico permite determinar la cantidad de capas y su espesor. El análisis se realiza por comparación con pinturas de referencia (banco de datos de las pinturas de autos). La identificación formal requiere el análisis de los componentes (pigmentos, aglutinantes, plastificantes, solventes y aditivos). Existe todo un arsenal de métodos físico-químicos: cromatografía en fase gaseosa luego de una pirólisis, espectrometría infrarroja, espectrometría ultravioleta, espectrometría de fluorescencia X, etcétera.

5.3.4. Panorámica dental

La odontología puede ofrecer un gran servicio en la identificación de las víctimas de catástrofes aéreas (caída del *Concorde*), rutera (túnel del Mont-Blanc), ferroviaria (funicular austríaco), etcétera.

El reconocimiento de los cadáveres, ya sea que estén carbonizados o dislocados, es ante todo un imperativo en el plano humano, cuando se trata de responder a la expectativa de las familias. También es una operación capital para el desenlace de la investigación judicial. Por último, de la identificación indiscutible dependerá la responsabilidad del transportador y, como consecuencia, la indemnización por las compañías de seguros.

Hay que saber que la carbonización, que en principio destruye todos los elementos morfológicos identificables, a menudo conserva los dientes, que resisten temperaturas elevadas, aproximadamente 300° C, y hasta 400° C para las prótesis (corona).

El especialista analiza las radiografías panorámicas (zonortopantomografía) de las mandíbulas de la víctima en busca de anomalías y prótesis descriptivas. En ocasiones es deseable realizar macrografías con el aparato Land CU-5, vendido con un maletín dental que com-

Copyrighted material

prende sobre todo reflectores palatales cromados (adulto, niño) y un reflector bucal lateral. El relevamiento dental permite comparaciones con informaciones *ante mortem* suministradas por los cirujanos dentistas tratantes. En el caso en que se carezca de informaciones dentales, habrá que contentarse con superponer una fotografía en la cual el desaparecido sonría con la de la dentición que se debe analizar. Diversos autores propusieron un modelo de ficha dental. La más conocida sigue siendo el odontograma de Interpol.

5.3.5. Dermatoglifos palmares y plantales

Los dibujos de las crestas dermoepidérmicas de la cara palmar de la mano y los dedos y de la cara plantal del pie y los dedos del pie son dermatoglifos inmutables y totalmente comparables con las huellas digitales. Existen diferentes tipos de dibujos en las áreas interdigitales y sobre las eminencias *tenar* (externa) e *hipotenar* (interna). En la base de cada dedo existe una estrella con tres ramas (*triradius*), de la que parte una cresta llamada línea principal y que está designada por una letra (A, B, C, D y T). Cada cresta termina en la periferia de la mano y describe un trayecto variable. Por último, puede comprobarse la formación de presillas y remolinos en los espacios interdigitales.

La zona mediana de la mano está situada alrededor de la línea larga longitudinal que desciende en medio de la mano y, por así decirlo, forma su eje. De las 4 principales líneas de la palma, la larga longitudinal es la más variable. En general, nace bajo el dedo medio, o en la línea transversa superior, y termina en alguna parte en la zona inferior de la palma. Las otras 3 líneas principales de la mano son la semicircular o línea tenar (la línea de la vida en quiromancia), que bordea la eminencia tenar; la línea transversa inferior (o línea de cabeza) que tiene o el mismo origen que la línea tenar o un origen muy cercano, y atraviesa la palma de un lado al otro; y la línea transversa superior (o línea de corazón) que va en una dirección opuesta, a partir de la punta tenar de la palma, generalmente hasta un punto situado entre el índice y el medio.

Los dibujos de los dermatoglifos palmares presentan particularidades morfológicas en función del sexo y la raza (blanca, amarilla o negra). Sin embargo, no hay que confundir las líneas dermoepidérmicas con los pliegues de flexión de la mano. Los dibujos *tenarianos* normalmente son paralelos al pliegue de flexión del pulgar y presentan una correlación inversa con los dibujos *lipotenarianos*, que están situados

Copyrighted material

en la parte interna de la palma, particularmente en el trirradio del talón de la mano. Las crestas pueden tener trayectos paralelos o, por el contrario, dibujar presillas remolinos o figuras complejas.

El estudio de los dermatoglifos palmares (red papilar y líneas) puede dar una información útil acerca del sexo, origen de la etnia, las deformaciones de la mano (mano contracturada, mano suculenta, etcétera) y los vicios de conformación (macrodactilia, sindactilia, polidactilia...), y sobre ciertas enfermedades generales de origen orgánico, nervioso o psicosomático.

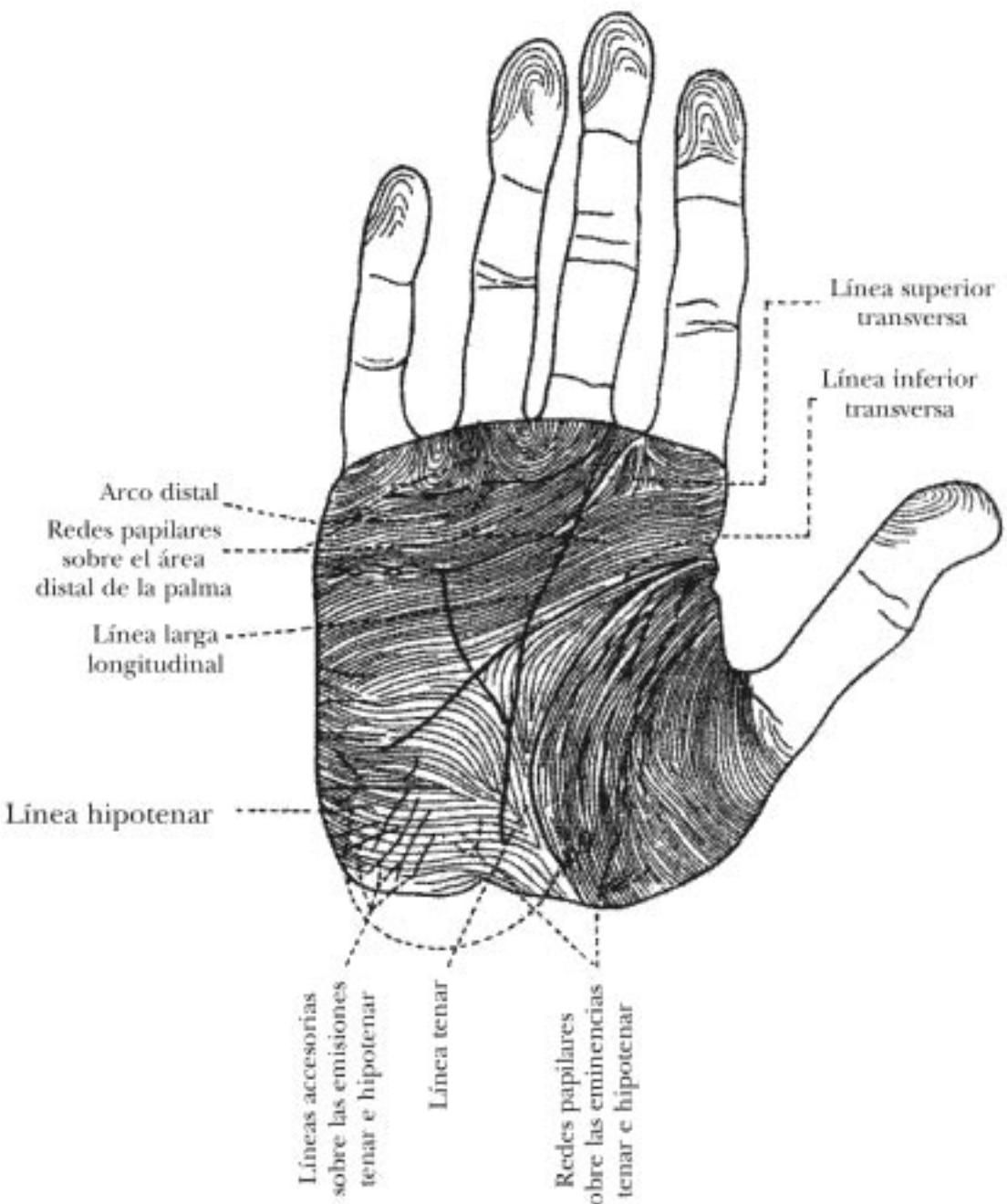
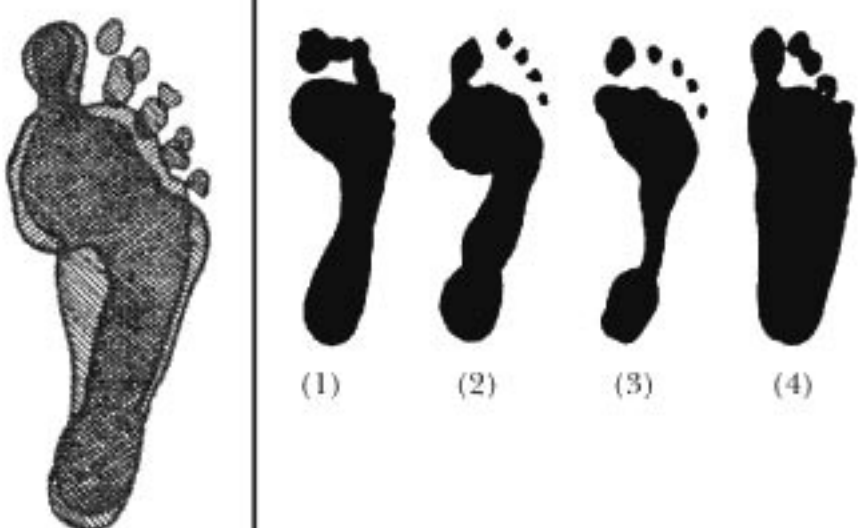


Figura 3.5. — Los dermatoglifos palmares y las líneas de la mano.

Copyrighted material

La disposición de los pliegues y las crestas dérmicas a menudo es anormal en los sujetos portadores de anomalías cromosómicas constitutivas. El estudio se descompone en dos exámenes: ante todo, el examen de los pliegues de flexión palmares en el individuo normal, cuyo número es tres, y de los pliegues de flexión de los dedos; luego, el examen de los dermatoglifos propiamente dichos (disposición de las crestas dérmicas).

Por lo que respecta a las huellas plantares (rastros de pies desnudos), son muy raras, ya sean papilares o simplemente formales, o se trate de rastros latentes o sangrientos. Como las huellas palmares, pueden suministrar indicaciones sobre el sexo, la edad o la etnia. En general, las huellas plantares presentan indicios particulares procedentes de anomalías de origen patológico que facilitan la identificación. Sin embargo, muestran la conformación del pie y sobre todo de la bóveda, muy variable según los sujetos.



Superposición de dos huellas de pies desnudos (diferenciación comprobada)

(1) yuxtaposición de los dedos del pie
(2) longitud anormal del 2º dedo
(3) bóveda plantar muy acentuada
(4) pie plano (bóveda plantar inexistente)

Figura 3.6. — Huellas del pie y particularidades de las huellas.

La observación de las zonas de hiperapoyo para los pies planos y sus ausencias para los pies combados constituye un criterio determinante. Las deformaciones más frecuentes del dedo gordo, *hallux valgus, hallux rigidus*, dan una huella característica. Por último, algunas afecciones tienen una repercusión directa sobre el andar, que puede ser vacilan-

Copyrighted material

te o en zigzag, procedente de pasajes alternativos o simultáneos de los dos pies de cada lado del eje de desplazamiento (*steppage*[*]).

En biometría, el sistema de reconocimiento de la mano se realiza mediante fotografía digital en 3D para capturar los datos característicos (longitud y ancho de los dedos, formas de las articulaciones...). Por lo tanto, se crea una geometría de la mano a partir de las diferentes informaciones, que son grabadas en la memoria por intermedio de un lector. Un fichero tipo exige 90 bytes de memoria.

5.3.6. Las huellas labiales

En algunas ocasiones, las huellas labiales están presentes al pie de un documento, ya sea escrito, dactilografiado o se trate de una bajada informática. La huella labial, que generalmente es una práctica exclusivamente femenina, de algún modo puede ser considerada como una firma comparable a la firma digital[35] por inserción de la huella del índice. A esto se añade una intimidad compartida entre el remitente y el destinatario. La huella labial generalmente es reforzada por el lápiz labial de color más o menos intenso.

Estas huellas se las puede encontrar también sobre las colillas o los vasos. El dibujo labial se presenta en la forma de un conjunto de surcos que tienen una dirección vertical. Los surcos son variables en longitud y en posición de un labio al otro.

Desde la aplicación a la criminalística de los tests de ADN, el examen de las huellas labiales hoy carece totalmente de interés.

5.3.7. Los rastros de uñas

Las uñas pueden dejar rastros sobre el cuerpo de un individuo, sea éste víctima o agresor. En su aspecto típico, se presentan en forma de

[*] El *steppage* es una manera de andar (flexión del muslo sobre la pelvis a cada paso) característica de los enfermos aquejados de parálisis de los músculos del peroné y los extensores de los dedos del pie. [T.]

[35] La inserción de una huella digital sobre un documento no tiene valor de prueba para la Corte de Casación, que tiene en cuenta la posibilidad de obtener una huella de una persona desvanecida, ebria, enferma o hasta muerta, en una palabra sin conocimiento ni voluntad. Las razones de no conceder a las huellas digitales el estatus de una firma manual no se refieren al valor de identificación dactiloscópica sino al hecho de que en el transcurso de la manipulación de un documento, sin prestar atención, es posible insertar huellas sin haber tenido la intención de aprobar el texto escrito.

Copyrighted material

rastros semilunares, pero es muy raro que esos rastros sean identificables, en virtud de la elasticidad de la piel.

Por otra parte, los documentos en papel soportan más o menos rastros de uñas que son directamente proporcionales a una mayor o menor manipulación. Son visibles con luz tangencial, porque dejan un surco (estela) cuya profundidad no es desdeñable y que en ocasiones puede ser medida por la rugosimetría de superficie.

6. LOS INCENDIOS Y LAS EXPLOSIONES

Habida cuenta de su parentesco material y un enfoque cercano a la investigación de las causas del siniestro, es posible agrupar en un capítulo común los incendios y las explosiones. En ambos casos, las investigaciones criminalísticas se superponen, y consisten en la búsqueda de indicios (manchas, rastros, restos, huellas, fórmulas químicas, etcétera) que permitan:

— *en los incendios,* localizar el foco inicial, determinar las causas de la combustión e identificar la naturaleza del combustible;
— *en las explosiones,* reconstituir, a partir de los análisis de los fragmentos y las circunstancias, la naturaleza del aparato explosivo (dispositivo de detonación, carga y envoltorio eventual).

6.1. *Los incendios*

Para que se declare un incendio, tres condiciones deben hallarse reunidas:

— *el combustible:* toda materia inflamable en estado sólido, líquido o gaseoso;
— *el carburante:* el oxígeno del aire; cuanto mayor es la acción de superficie con el material, más intensa la combustión;
— *la energía térmica o de encendido,* que constituye el detonador del proceso.

Cuando el tenor en oxígeno cae por debajo de aproximadamente el 10% en volumen, el incendio no puede seguir desarrollándose,

Copyrighted material

salvo que el elemento combustible no encierre en sus moléculas suficiente cantidad de oxígeno para obtener una combustión completa. El desarrollo del fenómeno de combustión requiere una energía de reactivación mediante un proceso de reacciones exotérmicas en cadena, en presencia de una cantidad suficiente de material combustible de un potencial calorífico elevado y un aporte constante en oxígeno.[36]

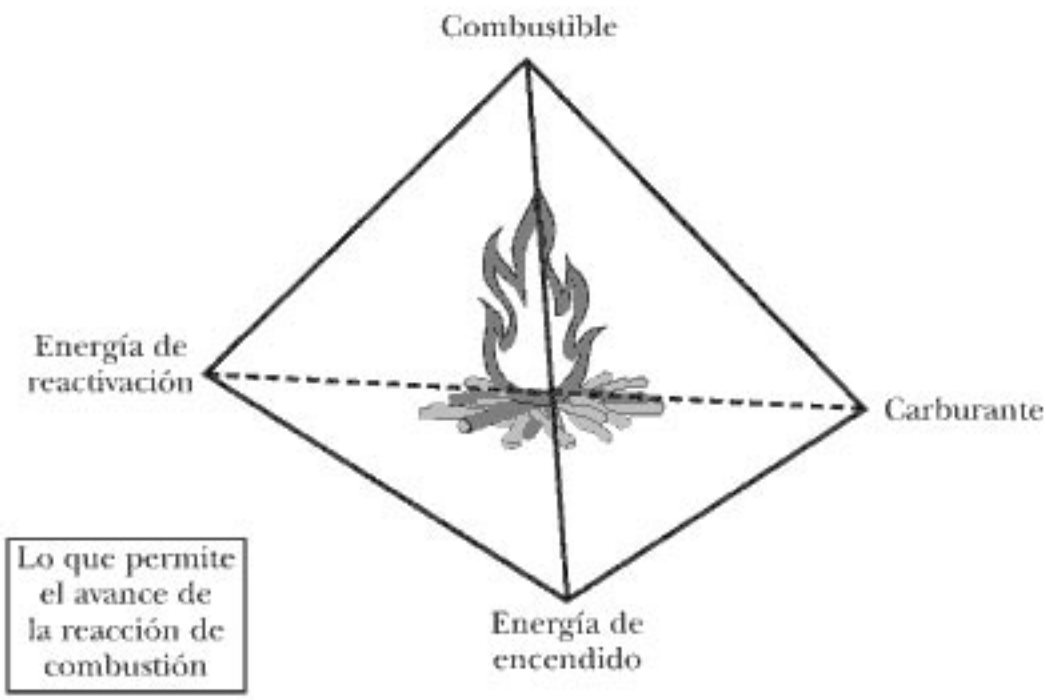


Figura 3.7. — Factores necesarios para el desarrollo de un incendio.

Las causas de incendio pueden ser diversas y variadas:

— de origen natural (rayo, sol, erupción volcánica...);
— de origen espontáneo (calentamiento de los productos por fenómenos de oxidación, fermentación o hidratación);
— de origen accidental (por cortocircuito de las instalaciones eléctricas o de calefacción, o por negligencias o imprudencias);
— de origen intencional (por aporte de sustancias inflamables usuales, líquidas o sólidas).

Los incendios voluntarios, por no decir criminales, son de lejos los que interesan a la criminalística.

[36] En la hipótesis de un espacio cerrado que posea suficiente oxígeno, el aumento de presión no se opone a la producción de elementos gaseosos que participan en el incendio.

Copyrighted material

De una manera general, cuatro tipos de móviles empujan a los pirómanos a pasar al acto:

— ajuste de cuentas, intimidación de orden privado (celos, odio, venganza, extorsión...);
— intereses financieros (estafa a las compañías de seguros);
— distracción o creación de una coartada;
— problemas de la personalidad, que generalmente tienen que ver con la psiquiatría (debilidad mental, perversión, etcétera).

En el lugar de los siniestros, hay que tener en claro que es en la zona del foco incial donde se observan los destrozos más importantes.[37] Puede utilizarse la termografía infrarroja para determinar el valor y la distribución de las temperaturas en la zona invadida por el fuego. Estos datos pueden resultar importantes cuando se trate de:

- examinar la posibilidad de intervención de socorristas en la zona incendiada, así como indicarles las vías de acceso más seguras para llegar hasta las víctimas, los documentos importantes, los aparatos o instalaciones, los interruptores eléctricos, los puntos de llegada del agua, etcétera;
- tomar una decisión por lo que respecta a la extensión y género de acción que se debe emprender en el lugar (¿hay que tratar de sofocar el fuego o bien evacuar las instalaciones, máquinas y personas, o incluso abandonar sin demora el lugar amenazado de explosión o derrumbe?);
- determinar el grado de ignición en el interior de muros insonorizados y aislados térmicamente por añadidura de poliuretano;
- apreciar el valor y distribución de las temperaturas en la zona siniestrada, antes de dejar penetrar a los investigadores.

El estudio se vuelve más delicado cuando los focos son múltiples, con intercomunicación. En esta fase son imperativas las tomas de muestras de materiales carbonizados y restos diversos, que deben ser los más nu-

[37] El incendio evoluciona en cinco fases: una *fase de latencia,* que estará caracterizada por una energía de encendido suficiente; una *fase de arranque,* cuya duración depende de la inflamabilidad de los materiales; una *fase de aceleración,* donde el o los focos se vuelven más o menos localizables; una *fase de incendio generalizado,* la más espectacular por aumento de la temperatura y la velocidad de combustión; por último, una *fase de recaída,* donde el incendio va a decrecer si no interviene ningún aporte exterior de combustible.

Copyrighted material

merosos posibles. Estas muestras están destinadas *a posteriori* a ser analizadas en laboratorio para buscar la presencia de una o varias sustancias que aceleren la combustión y prueben un origen criminal.

El principio de este examen consiste en buscar los rastros no quemados de un líquido inflamable por la técnica de la "zona de arranque" para los compuestos volátiles. En efecto, cuando un material estuvo en contacto con un acelerador de combustión, la atmósfera en equilibrio sobre el material (zona de arranque) encierra, a una temperatura determinada, los constituyentes ligeros. Por lo que respecta a los constituyentes pesados, estos deben ser tratados con un líquido extractivo apropiado.

Actualmente, la técnica mejor adaptada pone en marcha la cromatografía en fase gaseosa acoplada a la espectrometría de masa, que es un método de análisis en el cual la técnica de separación (CG) precede a la técnica de análisis (SM), y donde la señal observada traduce la simultaneidad de dos parámetros independientes: el tiempo de retención y los iones observados característicos del compuesto estudiado, lo que suministra un espectro representativo de la molécula inicial. Este espectro, comparado con espectros de referencia, permite conocer la identidad del producto.

6.2. Las explosiones

Hace ya más de treinta años que se cuentan numerosos atentados con explosivos. Durante ese periodo se comprobó que la evolución recaía en los detonadores o dispositivos fulminantes, que apelaban a tecnologías electrónicas cada vez más sofisticadas (disparo por multiplicador, triac, tiristor, o por utilización de circuitos integrados). También puede citarse la utilización de explosivos de obra (dinamita, nitratos industriales [algodón nitrado]) o militares (plástico, pentrita, sémtex, etcétera), sin hablar de las bombas artesanales que utilizan garrafas de gas unidas a un sistema de combustión.

De una manera general, el fenómeno explosivo se debe a una descomposición química de la sustancia por la acción de una influencia exterior (impacto, calor, chispa, punto rojo térmico, etcétera).

Se distinguen dos tipos de reacciones explosivas:

— *la deflagración:* corresponde a un fenómeno explosivo que se propaga por conductividad térmica, y cuya velocidad de propagación es del orden de algunos centímetros a algunos metros por segundo;

Copyrighted material

— *la detonación:* corresponde a un fenómeno explosivo que se propaga por el mecanismo de la onda explosiva (onda de impacto + reacción química), con una velocidad de propagación del orden de 1 000 a 9 000 m por segundo.

La eficacia de un explosivo está ligada a su velocidad de detonación y a su densidad de cargamento. La prueba de quiebre permite clasificar los diversos explosivos según sus efectos destructores, bajo la apariencia de una onda de impacto que se propaga en la masa total de la sustancia. Por lo demás, se demostró que la extensión de las destrucciones varía en función de la masa del explosivo.

Los explosivos de fulminante son explosivos primarios que sólo se utilizan en los detonadores porque son sensibles al impacto, el frotamiento o el calor (fulminato de mercurio, azoturo de plomo o de plata, tetrazeno).

Luego de un atentado con explosivos, la investigación científica comprende las siguientes etapas:

• *Determinación del emplazamiento del artefacto*

Esta primera etapa se desarrolla a partir de la llegada al lugar del o los expertos judiciales. Tras la observación de conjunto de los destrozos, hay que localizar, a veces en condiciones difíciles (gruesa capa de escombros), el epicentro de la explosión, que materializa el emplazamiento de la carga explosiva. En el caso en que ésta fue apoyada en el suelo, se manifiesta a través de un cráter cuyas características morfológicas dependen de varios factores:

— la naturaleza del suelo (tierra, cemento, hormigón armado...);
— la masa del artefacto;
— el tipo de explosivo utilizado.

En forma inmediata se deben efectuar tomas de muestras (restos y residuos) en el mismo cráter y sus inmediaciones, para identificar sobre el terreno la presencia o no de pólvoras explosivas, con ayuda de reactivos apropiados. Al comparar esta indicación de las características dimensionales del cráter, un especialista puede evaluar la cantidad de explosivo utilizado, apoyándose en el principio de que los efectos mecánicos del quiebre van disminuyendo a medida que se alejan del epicentro.

Copyrighted material

• *Examen de los fragmentos y esquirlas que se extraen del lugar*

Durante una explosión, algunos elementos del artefacto son proyectados a varias decenas de metros. A partir del cráter, conviene avanzar en círculos concéntricos para recuperar los fragmentos, restos o esquirlas, ya sea de un mecanismo de combustión clásico (detonador, encendedor, cordel detonante), de un dispositivo de retardo, reloj u otros, o de un radiocomando.

• *Estudio de laboratorio*

El análisis por diversos métodos de las muestras en laboratorio (cromatografía, espectrometría de masa y otros) permite, en muchos casos, identificar los constituyentes de la carga explosiva y sus residuos. Sin embargo, la dificultad reside, no tanto en el método analítico, sino en la extracción de los microrrastros de explosivo presentes en los restos y residuos. La elección del líquido extractivo es primordial para obtener resultados nítidos y claros.

En ocasiones ocurre que el artefacto lleve inscripciones manuscritas o huellas digitales que, por supuesto, deben ser objeto de una investigación profunda.

Por último, una síntesis de las informaciones recibidas (resultados de análisis, características del cráter, naturaleza de los fragmentos extraídos, circunstancias de la explosión), en ocasiones permite una reconstrucción exacta del artefacto explosivo.

Copyrighted material

4. LOS MÉTODOS FOTOGRÁFICOS

La fotografía es la base de todas las actividades de la criminalística, ya sea:

— *descriptiva*, para la reproducción de los individuos fichados: fotografías antropométricas;
— *panorámica*, para la fotografía de las escenas del crimen y la fijación del aspecto del lugar del atentado, incendio, asalto a mano armada, etcétera, mediante un objetivo gran angular o formato panorámico de una cámara APS;
— *comparativa*, para la demostración de la identidad o la comunidad de origen: debe ser realizada en condiciones rigurosamente idénticas de toma (de aumento e iluminación);
— *científica*, por visualización, ya sea en el invisible (UV o IR) o en absorción dicroica en el visible;
— *documental*, para la presentación en el legajo de las piezas de convicción tal como son transmitidas al experto;
— *digital*, que da una imagen que puede ser visualizada inmediatamente con una calidad prácticamente idéntica a la de plata para las cámaras de alta gama (3.3 megapixeles).

1. LA FOTOGRAFÍA DE PLATA

Por supuesto, se trata de la fotografía tradicional que utiliza el procedimiento de gelatino-bromuro de plata. En criminalística documental o investigativa se utilizan diferentes técnicas de toma.

1.1. *Fotografía por contacto*

Desde Bertillon y Reiss, la fotografía siempre fue el auxiliar más precioso del experto en escrituras. Si nos trasladamos treinta años hacia atrás, la fotocopia sólo estaba en sus inicios y la xerocopia era inexis-

Copyrighted material

tente. En esa época, para obtener facsímiles, se echaba mano a la fotografía por contacto, pasando por el negativo sobre papel, a partir del cual se sacaba una prueba positiva. Desde esta época, la fotografía constituye la técnica esencial en la investigación de la prueba, porque permite efectuar comparaciones complejas, sin que sea necesario apelar a largas demostraciones. Aunque en la actualidad se haya abandonado totalmente, esta técnica merecía ser mencionada.

1.2. *Fotografía por reflexión*

Es la fotografía más extendida para fijar la imagen de rastros diversos que no tienen un relieve marcado o que están producidos sobre un soporte demasiado frágil. Cualquiera que sea la naturaleza del rastro y el soporte, deben observarse algunas reglas para reproducir el rastro sin deformar la perspectiva, al tiempo que se respeta la relación de la toma ubicando a su lado una reglita centimétrica que se fotografía al mismo tiempo.

La iluminación representa un papel importante para la manifestación de los detalles del rastro. Una fuente de luz oblicua resulta particularmente bien adaptada, porque permite jugar con las sombras.

A título de ejemplo, el levantamiento de las huellas del pie por fotografía no plantea ningún problema si la huella se encuentra al aire libre, en tierra transportable.

La operación es más delicada cuando la huella está situada en un suelo brillante tipo estacionamiento, recubierta por una capa de pintura antipolvo. En este caso, la fuente luminosa debe ser puesta muy cerca del objetivo de la cámara.

1.3. *Fotografía por filtrado*

El uso de determinados filtros a veces resulta indispensable para mejorar la calidad de las tomas.

Los filtros para las películas blanco y negro (amarillo, azul, verde, rojo y polarizador) tienen la particularidad de detener una parte de las longitudes de onda correspondiente a sus colores complementarios, y dejan pasar las de sus propios colores. Un filtro de color oscuro absorbe más la luz que uno claro. El negativo es menos opaco, lo que permite obtener una copia con una gama de grises más densa. El

Copyrighted material

filtro polarizador reduce considerablemente los reflejos de superficies reflectoras. Una utilización particular que merece ser señalada es la del filtro Wratten 87C para eliminar las manchas de sangre sobre un objeto, superficie o documento.

Para la fotografía color, por absorción dicroica, se recurre a filtros coloreados según el efecto buscado.

— El *filtro amarillo* aclara los amarillos, los rojos y verdes, y oscurece los azules y violetas.
— El *filtro azul* aclara los azules y violetas y oscurece los amarillos, los verdes amarillentos y los rojos.
— El *filtro verde* aclara los verdes y amarillos y oscurece los violetas y rojos.
— El *filtro rojo* aclara los rojos y amarillos y oscurece los verdes, azules y violetas.

Así, una fotografía contrastada con un filtro amarillo K3, por ejemplo, permitirá la visualización de las escrituras desvanecidas por un lavaje con bisulfito. Este filtro también puede servir para clarificar los detalles de caracteres escritos con lápiz en papel (grafito o mina de plomo).

En ocasiones es indispensable la utilización de una cámara de revelado instantáneo (Polaroid profesional): ésta permite que el usuario se dé cuenta inmediatamente del resultado obtenido. En caso de falla, la toma puede ser renovada hasta la obtención de una fotografía de buena calidad. Para los documentos, las relaciones de ampliación utilizadas en macrofotografía son 2:1, 3:1, 5:1 y, en microfotografía, 10:1, 20:1, 50:1.

Para los desplazamientos, la Minox LX, cámara en miniatura que abulta muy poco, permite tomas de cerca hasta 20 centímetros. Sin embargo, el pequeño formato de la película no permite ampliaciones superiores a 9 x 13, de otro modo aparecerá un grano enorme.

1.4. *Fotografía con luz transmitida*

La fotografía por luz transmitida (se apoya el documento sobre una caja luminosa) conviene perfectamente para la manifestación de falsificaciones por alteración mecánica (borrado y raspado) y también para observar el detalle de una filigrana o el aspecto del papel por transparencia.

Copyrighted material

1.5. *Fotografía con luz negra*

La fotografía con luz negra, que apela a la utilización de las radiaciones ultravioletas de la lámpara de Wood, permite revelar lavados químicos con corrector, alteraciones de superficie o firmas sobreañadidas, spots de cromatogramas sobre papel o capas delgadas, huellas reveladas con ayuda de un polvo fluorescente.

El examen debe ser efectuado en ultravioleta reflejado utilizando una fuente emisora de 254 nm (UV corto)[1] o de 356 nm (UV largo).[2] La fuente de UV corto debe tener una potencia de por lo menos 160 W (lámpara llamada de emisión retardada por precalentamiento y llegada a temperatura). Para la lámpara de potencia superior, 400 W, debe estar acoplada a un transformador especial. Muchas sustancias (tinta, pigmentos, colorantes) absorben la luz ultravioleta y dispersan una parte de esa energía en forma de luz visible de color variable, de longitud de onda superior y energía más débil. Es lo que se llama la fluorescencia.

La fotografía de fluorescencia, que utiliza una excitación mediante el ultravioleta, requiere el uso de un filtro de absorción Wratten 2E, ubicado ante el objetivo, que absorbe el ultravioleta y una parte del azul. En cambio, la fotografía de fluorescencia con luz visible requiere la utilización de dos filtros: uno de absorción Wratten 2A o 2B, que absorbe el UV y transmite el visible, y uno de excitación Wratten 18A, ubicado ante la fuente, que transmite el UV y absorbe el visible. No hay ninguna dificultad para la toma.

Entre las numerosas aplicaciones de la fotografía de fluorescencia figura la detección de los elementos de seguridad de ciertos documentos administrativos o fiduciarios. La empresa Kodak comercializa en los Estados Unidos una película blanco y negro (T-MAX) especialmente adaptada para la fotografía de fluorescencia bajo UV cortos.

[1] La fuente emisora de 254 nm puede estar constituida por un tubo UV Mazdafluor de 1 m de longitud. Funciona con el mismo arrancador y el mismo balasto que los tubos fluorescentes clásicos.

[2] La fuente emisora de 356 nm del tipo lámpara de alta presión a vapor de mercurio.

Copyrighted material

1.6. *Fotografía infrarroja*

Siempre en el campo de lo invisible, la fotografía tradicional blanco y negro infrarroja requiere la utilización de un material adaptado a esta aplicación, a saber:

— Una *caja estanca* a los IR y un prensapelícula liso para evitar la reflexión del infrarrojo sobre dicha pieza.
— Una *óptica apropiada* al infrarrojo, que posea sobre el anillo de la profundidad de campo una localización materializada, o por un punto rojo o por la letra R.
— Una *película sensible al infrarrojo* del tipo Kodak High Speed Infrared (80/20° iso para luz de día) o (200/24° para luz artificial).
— Un *filtro de absorción:* Wratten 88A (700 nm), 87C (780 nm) y 87B (830 nm) 87A (1 000 nm).
— *Condiciones de toma.* Tras la puesta a punto, se posiciona la distancia telemétrica frente a la señal de IR. Se recomienda efectuar varias tomas con 1/125 y aberturas de f8, f11 y f16.
— *Revelado.* La película debe ser tratada rápidamente tras la toma: revelador Kodak D-76, 250 ml QSP 500 ml con agua, detenedor Ilford IN1, fijador Ilford Hypam.

Aquí sólo se trata de la fotografía en infrarrojo reflejo entre 700 y 1 000 nm según el tipo de filtro de absorción utilizado. El fenómeno de luminiscencia en el rojo y el cercano infrarrojo sólo se obtiene mediante un convertidor de imagen con una fuente de luz azul verde y un filtro de absorción 89B.

Las indicaciones que preceden muestran que la fotografía infrarroja puede ofrecer grandes servicios en criminalística, particularmente en el campo de la falsificación de documentos o el del establecimiento de fotos antropométricas. Los rayos infrarrojos ponen de manifiesto cicatrices, tatuajes o determinadas enfermedades de la piel difícilmente visibles o directamente invisibles al ojo con luz normal. Como ejemplo, es posible realizar buenas fotografías infrarrojas de las manchas de sangre transformando el hierro de la hemoglobina en azul de Prusia, que es opaco a los IR.

Copyrighted material

1.7. *Fotografía nocturna*

Es posible realizar tomas nocturnas utilizando una película blanco y negro de una sensibilidad del orden de 400 a 500 ASA.

Sin embargo, la utilización de este tipo de emulsión requiere un tiempo de pose largo, y por lo tanto hay que tener en cuenta el efecto *Schwarzschild*.[3] Cuando se quiere operar en instantánea para una toma directa, nos vemos en la obligación de utilizar una emulsión ultra rápida. Polaroid propone una película profesional de 20 000 ASA.

Por otra parte, un equipo de investigadores de la empresa Agfa-Gevaert, asociado a un grupo de científicos del laboratorio de físico-química de los rayos del CNRS,* acaban de encontrar el medio de multiplicar por diez, con la misma resolución, la sensibilidad de las películas fotográficas estándar.[4]

Ventaja para el usuario: poder captar movimientos más rápidos gracias a una disminución del tiempo de exposición o, sin aumentar este tiempo, lograr la fijación de una escena poco iluminada. Las aplicaciones más interesantes, pues, son en fotografía nocturna, fotografía sin flash y, en el campo médico, la radiografía, ya que el paciente recibe 10 veces menos de rayos X para un resultado análogo.

Otra ventaja, mejorar el grano de la foto. Mientras que una imagen sobre soporte electrónico hoy parece limitada a 3.1 millones de píxeles (1 536 x 2 048) de una imagen para un papel estándar 10 x 15 cm (película de 35 mm), gracias a este nuevo descubrimiento el procedimiento de plata debería superar el nivel actual de los 20 millones de pixeles por el de los 40 a 50 millones de pixeles.

2. LA FOTOGRAFÍA DIGITAL

Hace ya algunos años entramos en la era de la fotografía digital, que indudablemente un día vendrá a remplazar a la fotografía de plata

[3] Fuera de las regulaciones corrientes, las sensibilidades de las películas no corresponden ya a las indicaciones de la célula. En consecuencia, hay que efectuar una corrección empírica del tiempo de pose, lo que hace necesario, para un tiempo de pose determinado, varias tomas con aberturas diferentes.

* Centro Nacional de Investigación Científica. [T.]

[4] Se incorpora al gelatino-bromuro de plata 1 ppm de formiato de plata.

Copyrighted material

tradicional para uso del gran público. En efecto, ya no se necesita película de revelado ni escáner. Es posible tomar tantas fotos como sea necesario y no conservar más que las mejores, visualizándolas de inmediato. Sin embargo, la puesta a punto de la nueva emulsión ultrasensible de Agfa-Gevaert diferirá el plazo.

La digitalización permite codificar de manera uniforme cualquier documento en lenguaje binario (0 y 1). Y las aplicaciones más numerosas se dan precisamente en el campo de la fotografía. Todos los elementos de la fotografía tradicional vienen a añadirse a la computadora y a las extraordinarias posibilidades que permite en términos de retoque, procesamiento, creación, trucaje, inserción de texto, etcétera.

La configuración comprende una cámara digital conectada a una computadora mediante una interfaz o puerto, cuyo principio de funcionamiento es el siguiente:

La luz que entra en la cámara es focalizada en la superficie de un captor CCD (Charge Couple Device), que está constituido por una placa de silicio colocada en el sitio del film de plata. Sobre esta placa, una multitud de minúsculos transistores (los fotositos), dispuestos en filas y columnas, como los pixeles de una pantalla. Cada elemento produce una carga eléctrica proporcional a la intensidad luminosa que recibe.

Cuando la cámara recibió suficiente luz (vale decir, cuando la exposición es correcta), las cargas de las células son "leídas" y transmitidas a un convertidor digital (ADC). Éste transforma cada tensión analógica en un valor sobre 8 bits (entre 0 y 255), correspondiente al componente rojo, verde o azul para ese punto de la imagen.

Los datos salidos del convertidor pasan a través de un procesador de señal digital (DSP), que procesa los datos (por ejemplo, aumentando la cantidad de píxeles para mejorar la resolución efectiva de la cámara) y los comprime para que ocupen menos lugar.

La imagen es depositada en un dispositivo local de almacenado, a menudo compuesto de DRAM, de memoria flash o de un disco duro en miniatura.

Los datos de la imagen son transmitidos a la computadora, en general a través de una conexión serie o SCSI (*Small Computer System Interface*). En cuanto la imagen es recibida por la computadora, puede ser mostrada, transformada y almacenada en soportes magnéticos (discos duros, disquet Zip, cartucho Syquest) u ópticos (CD-ROM, CD-Foto, DVD).

Copyrighted material

El tamaño de los ficheros obtenidos para cada imagen es comprimido entre 1 y 30 megabytes. Las más de las veces, el almacenamiento se efectúa en memorias flash, no volátiles. Incluso, un disco duro equipa algunas cámaras profesionales.

Los principales criterios de elección son, por un lado, la resolución, y, por el otro, el acabado del color.

2.1. *Resolución/definición*

En fotografía de plata, la definición califica la capacidad de una película de reproducir los detalles para un contraste determinado por la cantidad de líneas por milímetro.[5]

En fotografía digital, la resolución[6] caracteriza la nitidez o claridad de una imagen y la calidad de la muestra en la pantalla o de la bajada de la impresora. Se expresa en pixeles (puntos elementales que componen una imagen digital).

La primera cámara digital con un captor de 6 millones de pixeles, o sea una definición máxima de 2 832 x 2 128, salió a principios de 2001.

2.2. *Acabado del color*

En fotografía digital, la codificación de cada pixel (azul, verde, rojo), sobre 24 bits, es suficiente para obtener visualmente una continuidad perfecta de tonos.

En cada caso, cada pixel coloreado (azul, verde rojo) está clasificado en 256 matices. Lo cual corresponde a $256,^3$ vale decir, alrededor de 16.7 millones de pixeles; esto es lo que explica que las imágenes de 24 bits rivalicen con sus homólogas de plata en términos de matices de color. Algunas extensiones del programa permiten procesar imágenes de 36 bits, que, teniendo en cuenta su costo, están reservadas exclusivamente a las ediciones de arte.

[5] El poder separador del ojo está limitado a $1/10$ mm^2.

[6] No hay que confundir la resolución óptica, que determina la sensibilidad de la cámara, con la resolución interpolada, que se calcula con el programa de retoques de imágenes-pixeles faltantes.

Copyrighted material

2.3. *Fotografía en 3D*

Un avance significativo de la foto digital permite realizar tomas en tres dimensiones con el 3D 1500 (Minolta). El efecto de relieve se logra mediante una doble toma: una para el aspecto (la textura), la otra para el relieve. Transferidas a una computadora dotada del programa meta-Flash Studio, las imágenes pueden ser restituidas e impresas en tres dimensiones.

Recordemos que es en el fotógrafo donde residen la objetividad y la imparcialidad, y no en la misma fotografía, apta para todos los trucajes, y cuyas posibilidades de falsificación o manipulación de las imágenes (retoques, modelización, fractales, metamorfosis, imagen digital, etcétera) fueron aumentadas todavía por la técnica digital. Por eso, el experto siempre debe conservar en su legajo las pruebas materiales de la realización de la iconografía de su informe y, además, tomar todas las disposiciones útiles para una buena conservación de esos documentos archivados.

Copyrighted material

5. LOS MÉTODOS DE EXAMEN

En los métodos de examen, agrupamos:

- los métodos microscópicos;
- los métodos de rugosimetría;
- los métodos de visión por radiaciones electromagnéticas;
- los métodos de lectura de los trazos latentes (surcos).

1. LOS MÉTODOS MICROSCÓPICOS

La microscopia consiste en la observación de lo infinitamente pequeño mediante microscopios (del microscopio simple, o lupa, al microscopio electrónico), que, gracias al aumento que ofrecen, permiten el conocimiento de cosas o hechos poco visibles o invisibles a simple vista.

1.1. *El microscopio óptico*

El microscopio más sencillo, la lupa de escritorio, sólo permite observaciones macroscópicas (G x 10 como máximo).

El microscopio óptico, o microscopio común, nació en 1830, luego de los trabajos sobre la formación de las imágenes y la naturaleza de la luz llevados a cabo por los físicos Young, Fresnel y Maxwell. Comprende dispositivos ópticos complejos (para la iluminación y observación de los objetos microscópicos), soportados por un dispositivo mecánico de gran estabilidad y alta precisión.

El poder del microscopio común se ve limitado por la existencia de fenómenos paralelos y parásitos (fenómenos de aberraciones, esféricas y cromáticas, fenómenos de difracción por interferencias), cuya corrección, por supresión o compensación, determina la calidad del aparato en cuanto a su resolución (grado de perfección según el cual permite distinguir con agudeza) y su definición (grado de perfección según el cual permite distinguir con nitidez). Sin embargo,

Copyrighted material

no importa qué perfección se alcance, la potencia del microscopio finalmente está condicionada por imperativos de iluminación, refracción y angulación, que hacen que casi no pueda superarse útilmente el aumento lineal de 2 000 veces.

En efecto, cualquiera que sea la perfección del objetivo, el poder separador está limitado por la longitud de onda de las radiaciones electromagnéticas utilizadas (comprendida entre 250 y 1 000 nm).

1.2. *El microscopio polarizador*

La polarización de la luz se obtiene ubicando un nicol en el trayecto de las ondas luminosas. Todas las vibraciones son detenidas, salvo las que se producen en un plano paralelo a una posición determinada del polarizador. En la práctica, puede adaptarse un dispositivo de Nörremberg en la platina del microscopio. Sobre el ocular, una lámina dicroica (analizador) permite, por rotación, pasar de la posición de iluminación a la de oclusión.

El microscopio polarizador puede utilizarse para identificar la mayoría de las sustancias cristalizadas (salvo las del sistema cúbico). Al grupo de dichas sustancias se vinculan algunas materias sintéticas o plásticas en hojas, cuyos elementos muy finos, invisibles en el microscopio común, fueron alineadas por estiramiento del film durante la fabricación. Esta orientación de las partículas confiere al conjunto propiedades ópticas que recuerdan las de los cristales.

1.3. *El microscopio estereoscópico*

Ya en 1929, de Rougemont señalaba la insuficiencia del cuentahilos o la lupa de escritorio para el examen de los documentos que se debían peritar. En la mayoría de los casos, el criminalista recurre a la observación bajo un fuerte aumento.

El microscopio de aumento variable o zoom pone de manifiesto el relieve, lo que permite la observación de microdetalles que escapan al ojo.

En la actualidad, la mayoría de los microscopios están dotados de una cámara de microfotografía y un conjunto obturador automático de tomas o, mejor aun, acoplados con un conjunto en circuito cerrado (cámara de video, reproductor y monitor), que permiten fotografiar la pantalla del monitor mediante una cámara provista de un co-

Copyrighted material

no especialmente adaptado para este uso. También es posible utilizar una impresora color que permite obtener copias sobre papel.

Por razones presupuestarias, los expertos que no pueden disponer de medios modernos de infografía siempre tienen la posibilidad de utilizar una cámara clara de Nachet, pequeño aparato óptico que se ubica por encima del ocular del microscopio y que comprende dos prismas separados por una delgada capa reflectora semitransparente, que permite ver al mismo tiempo el dibujo del objeto que se debe examinar y el papel sobre el cual se quiere reproducir la imagen observada.

Siguiendo minuciosamente los contornos de los trazos se obtiene un dibujo aumentado en relación con el aumento del microscopio. También es posible efectuar medidas de longitud o de altura de letras manuscritas (análisis grafométrico) o de caracteres dactilográficos (identificación), utilizando un ocular micrométrico. Este ocular comprende una escala (en principio, 10 mm = 10 intervalos) grabada sobre un micrómetro ubicado en el plano del diafragma del ocular.

El valor micrométrico de un objetivo deberá ser conocido, antes de proceder a las medidas. Se entiende por "valor micrométrico de un objetivo" la longitud del plano objeto reproducida por el objetivo en los límites de un intervalo de la escala del micrómetro ocular. Como este valor varía según la desviación pupilar de los tubos binoculares, el contraste y la medida se efectuarán con un mismo ajuste de la desviación pupilar. Los valores micrométricos se establecen comparando la imagen de la escala de un micrómetro ubicado en el campo del objeto (micrómetro-objeto) con la escala del micrómetro ocular. Si x intervalos del micrómetro-objeto están contenidos en y intervalos del micrómetro ocular, el valor micrométrico del objetivo será igual a $x : y$, siendo x la unidad de medida del micrómetro-objeto (en principio 0.01).

La precisión del valor micrométrico obtenido será proporcional al número de intervalos utilizados para la medida. Lo más simple será partir de 100 intervalos (10 solamente para los objetivos débiles) del micrómetro ocular, que se comparará con los del micrómetro-objeto. De este modo, el valor micrométrico será obtenido por lectura directa y desplazamiento de la coma. El microscopio estereoscópico difiere del binocular en el sentido de que los ejes de enfoque de ambos ojos tienen entre sí un ángulo cercano a 15°. A la comodidad de la visión binocular suma la ventaja del efecto estereoscópico. Por cierto, es una de las herramientas más indispensables en criminalística, porque su utilización resulta necesaria prácticamente para todo tipo de exámenes, cualesquiera que sean los problemas por resolver.

Copyrighted material

1.4. *El microscopio óptico de barrido*

Se trata de un conjunto concebido para la microscopia tridimensional. Se compone de un microscopio óptico de barrido y un analizador sobre una base PC que maneja la captura y el procesamiento de las imágenes y produce diversas visualizaciones y medidas en 3D para las muestras traslúcidas, biológicas o las superficies.

El microscopio óptico de barrido permite eliminar la luz parásita procedente de objetos reflectores situados fuera del plano de ajuste. Es de tipo mecánico rápido (disco giratorio perforado de aberturas) que permite la observación en tiempo real y la utilización de una cámara de video.

Este microscopio funciona con luz blanca y objetivos comunes. Se utiliza exactamente como un microscopio clásico.

Para las superficies u objetos que presentan un relieve, apilando secciones ópticas de débil profundidad de campo se obtiene una representación topográfica de la superficie, y, gracias a la informática, también se produce una imagen con profundidad de campo extensa.

El control de este apilamiento se realiza de manera muy precisa; el objetivo es montado sobre un elemento piezo-eléctrico (reproductibilidad del movimiento de 20 nm) manejable a partir de una computadora.

1.5. *Los microscopios electrónicos*

El poder separador de los mejores microscopios ópticos es de alrededor de dos décimas de micrones, lo que permite aumentos del orden de 2 000 veces. Estos resultados pueden ser levemente mejorados mediante la utilización de una luz verde, azul, o incluso ultravioleta, cuya longitud de onda más corta garantiza un mejor poder separador, compatible con aumentos más grandes (hasta aproximadamente 2 500 veces).

Por lo tanto, toda una zona de lo infinitamente pequeño parecía inaccesible a la observación visual, lo que dificultaba su investigación. Alrededor de 1926, al alemán Hans Busch se le ocurrió utilizar ondas más cortas que las luminosas. De este modo, abrió la era de la microscopia electrónica. Las ondas utilizadas por Busch son aquellas que, según los trabajos sobre la mecánica ondulatoria de Louis de Broglie (1924), están asociadas a los electrones en movimiento.

Copyrighted material

De las reflexiones de Louis de Broglie y las experiencias de Davisson y Gerner (1927) resulta que los electrones, así como las otras partículas materiales, también tienen, además de sus cualidades corpusculares, propiedades ondulatorias. Así es como, en ciertas condiciones, un electrón en movimiento aparece como una onda cuya longitud es tanto más corta cuanto mayor sea la energía con que se desplace la partícula.

Es posible acelerar los electrones, vale decir, comunicarles energía, sometiéndolos al campo eléctrico que reina entre dos electrodos ubicados bajo tensión. Si ésta es de 12 000 voltios, la longitud de la onda asociada al electrón será del orden del mil millonésimo de centímetro. Este valor será todavía varios centenares de veces menor si la tensión es llevada a algunos millones de voltios. Por tanto, se dispone de una "iluminación" cuya estructura ondulatoria es varias decenas o centenas de miles de veces más fina que la de la luz. Habida cuenta de los límites técnicos de las lentillas magnéticas o electrostáticas que sirven para concentrar los haces de electrones, esto permite obtener un poder separador varios cientos de veces superior al posible en óptica lumínica, y aumentos varias decenas de miles de veces más elevados. La imagen proyectada por el haz de electrones es invisible, pero puede ser mostrada por el impacto de los electrones sobre una pantalla fluorescente o una placa fotográfica.

Hoy se distinguen tres tipos principales de microscopios electrónicos.

- *El microscopio electrónico de transmisión,* donde el objeto es atacado por un haz de electrones (de iluminación) y donde la imagen también es suministrada por los electrones. Aclaremos que la fuente de electrones es exterior al objeto. Se distinguen:
  — los microscopios de lentillas magnéticas, donde el haz de electrones es concentrado y desviado por enrollamientos conductores dimensionados y recorridos por corrientes eléctricas;
  — los microscopios de lentillas electrostáticas, en los cuales el haz es moldeado a su paso en especies de anillos metálicos colocados bajo tensión.

El principio de realización de un microscopio electrónico de transmisión es análogo al de un microscopio óptico.

Copyrighted material

- *El microscopio electrónico de emisión,* que permite observar un objeto que a su vez emite electrones. Este aparato es bastante poco utilizado, salvo en casos particulares, sobre todo para el examen de metales incandescentes y otros materiales a alta temperatura, porque estos cuerpos emiten una cantidad apreciable de electrones por efecto termoeléctrico.
- *El microscopio electrónico de barrido,* que analiza el objeto punto por punto, con ayuda de una "sonda electrónica" que barre sistemáticamente, línea tras línea, la superficie que se debe examinar. Hoy, este tipo de microscopio es corrientemente utilizado para diversos estudios.

1.6. *El microscopio electrónico de barrido*

Gracias a sus posibilidades iconográficas electrónicas y de microanálisis elemental, el microscopio electrónico de barrido (MEB) es de un gran interés para los laboratorios especializados en criminalística.

1.6.1. La iconografía electrónica

El examen con aumentos que van de 10 a 180 000[1] presenta aplicaciones prácticas en policía científica en tres grandes campos.

En balística, el MEB permite la observación de las vainas (fondo de percusión) y de las balas (rayas y estrías).

Cuando está acoplado a un microanalizador X, es posible analizar los residuos de tiro (plomo, bario, antimonio).

En biología, permite el examen de las diversas fibras, pero también los cabellos y pelos. Por otra parte, es posible hacer la distinción entre un pelo humano y uno animal y determinar cómo fue roto el pelo o el cabello (corte, arrancamiento, quemadura).

En el terreno de los documentos, el MEB permite sobre todo la determinación del orden de aplicación de los trazos, la caracterización de las cintas carbónicas de las máquinas de escribir, la identificación por la huella de las fibras sobre una cinta correctora, el examen de la disposición de las fibras de un papel, etcétera.

La excitación de una superficie por un haz de partículas incidentes provoca en la zona de impacto una emisión de partículas secundarias que son características de las propiedades fisicoquímicas de dicha zo-

[1] Lo que determina el aumento de la imagen es la amplitud del barrido.

Copyrighted material

na. Según la naturaleza y la energía de las partículas incidentes, se recogen diferentes emisiones, cada una de las cuales corresponden a un método de examen y también de análisis de superficie.

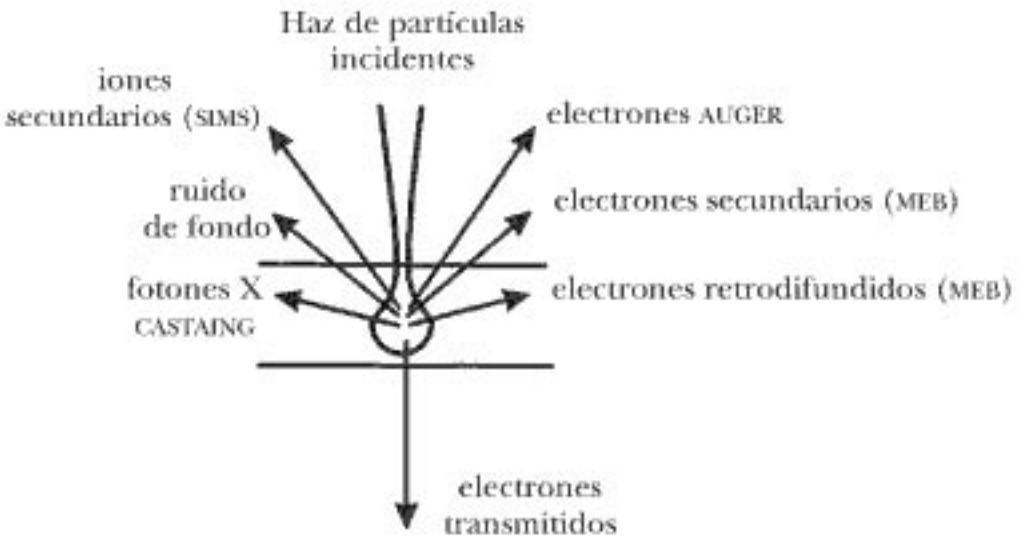


Figura 5.1. — Señales emitidas por la materia sometida a un bombardeo electrónico.

El MEB analiza el objeto punto por punto, con ayuda de una sonda electrónica que barre sistemáticamente, línea tras línea, la superficie que se debe examinar. Esta sonda genera un haz de electrones muy fino (su diámetro es inferior a un millonésimo de centímetro). Una parte de los electrones incidentes arranca electrones secundarios a la superficie del objeto. La cantidad de electrones secundarios y retrodifundidos varía en el curso del barrido, en función de la naturaleza y forma de la zona tocada por la sonda. Un detector cuenta esos electrones y engendra una señal que, tras amplificación, modula el haz de un tubo catódico (pantalla de televisión) que funciona en sincronización con la sonda. El aumento es tanto mayor cuanto más pequeña es la superficie barrida, porque ésta siempre es remitida a las dimensiones de la pantalla del tubo catódico. El espesor analizado es del orden del micrón.

Generalmente se toman fotografías directamente del aparato, que está provisto de un chasis Polaroid (4 x 5 pulgadas) con Plan-Films T55 blanco y negro positivo/negativo 50/18, que dan un negativo reutilizable (1 600 L/mm) y que soportan un aumento de 25. Las muestras sometidas a examen deben ser previamente metalizadas con oro, ya que este procesamiento de superficie las protege del bombardeo electrónico y mejora la calidad de la imagen.

Copyrighted material

1.6.2. El microanálisis elemental

Cuando está acoplado con un analizador de rayos X que utiliza la dispersión de las longitudes de onda o la energía, el MEB permite un análisis químico puntual de elementos pesados; los elementos llamados ligeros (carbono, oxígeno y nitrógeno) no son detectados por este tipo de analizador, que conviene perfectamente para el análisis de los tóner, las tintas, las pinturas y los fluidos corporales como el esperma, la orina, la saliva y el sudor, que encierran sodio, fósforo, azufre, cloro, potasio, calcio, así como otros metales en el estado de trazas.

El aparato recolecta y analiza los fotones X surgidos de la interacción entre el haz electrónico y los átomos que constituyen la muestra. Una cadena de conteo convierte la energía de los fotones X incidentes en impulsos eléctricos, que luego serán amplificados, digitalizados y procesados por el analizador. El resultado se traduce en forma de un espectro que representa la cantidad de impulsos registrados para cada energía determinada, cuya correspondencia con el elemento químico considerado se lee en una tabla.

1.7. *El microscopio Auger de barrido*

Bajo el impacto de un haz localizado de electrones incidentes, el material excitado favorece la emisión de electrones secundarios según un proceso que se produce al mismo tiempo que la emisión de fotones y que se denomina emisión Auger. La energía de los electrones Auger, comprendida entre algunos electrones voltios y algunas centenas de electrones voltios, es característica del átomo emisor, lo que permite identificar los elementos químicos de la superficie de una muestra.

Un analizador electrostático detecta y mide la energía de los electrones Auger emitidos por la muestra. Los resultados se registran en forma de conteo de electrones o de un espectro de energía. La iconografía se obtiene por barrido de una sonda electrónica. El espesor analizado es superficial: 20 Å (2/1 000 µ); por consiguiente, el método es sensible a la contaminación atmosférica.

1.8. *La microsonda electrónica de Castaing*

La microsonda electrónica es una técnica de microanálisis elemental cualitativo o cuantitativo de los materiales, que no destruye la muestra.

Copyrighted material

Cuando un haz de electrones fuertemente acelerados toca una muestra, su energía es tal que arrancan electrones secundarios a las capas internas de los átomos que constituyen el material, provocando así la emisión de rayos X. Esta emisión X es característica de la naturaleza de los átomos que entran en la composición de la muestra.

El aparato está constituido por una fuente de excitación, un detector y un analizador de radiación X.

El haz de electrones se localiza para no excitar más que una superficie muy pequeña. El material emite rayos X procedentes de una zona mucho más vasta que la del impacto. Un haz incidente de 0.1 μ excita rayos X sobre algunos micrones de diámetro y profundidad. Una mira óptica permite localizar y observar, durante la operación, el campo sometido al examen.

Un dispositivo complementario de barrido de la superficie por el haz electrónico permite analizar un campo cuadrado de algunos centenares de micrones de lado. La imagen de la emisión de fluorescencia X aparece en un monitor, lo que permite observar la distribución de cada elemento químico en la muestra. La luminosidad de la imagen se encuentra en relación con la concentración del elemento químico en el punto correspondiente de la muestra.

El microanalizador electrónico opera en vacío sobre pequeñas muestras incluidas en la resina, preparadas en cortes perfectamente pulidos. Si bien el análisis no es destructivo de la materia, no obstante hay que metalizar la superficie para hacerla conductora de la corriente electrónica.

1.9. *La microsonda iónica (MSI)*[2]

La microsonda iónica es un método analítico que resulta de la combinación de un fenómeno físico (emisión iónica secundaria asociada a la pulverización) acoplado a un espectrómetro de masa.[3]

La pulverización iónica consiste en bombardear la superficie de una muestra con un haz de iones de energía relativamente débil.

Estos iones, al penetrar en la materia, aportan energía e inician cascadas de colisiones atómicas. Si, durante su transcurso, la energía

[2] MSI o SIMS (*Secondary Ion Mass Spectrocopy*).

[3] Véase el capítulo 6, § 2.5.

Copyrighted material

comunicada a los átomos de las capas más superficiales es suficiente, y si su vector de desplazamiento está convenientemente orientado, dichos átomos pueden abandonar el material, esencialmente en forma de partículas neutras.

Si el bombardeo iónico incidente prosigue, la eyección continua de átomos conduce a una verdadera erosión de la superficie de la muestra y a la formación de un cráter: es el fenómeno de pulverización de iones secundario, cuyo tiempo de vuelo entre la superficie de la muestra y la del detector (TOF-SIMS) puede medirse. Se caracteriza por un rendimiento de pulverización que da la cantidad de átomos pulverizados por ión incidente. Este rendimiento varía con la naturaleza del material, así como la naturaleza y energía de los iones incidentes.

Las dimensiones laterales del cráter formado dependen de las dimensiones del haz de iones, y su profundidad está ligada al rendimiento de pulverización y a la densidad iónica incidente.

Asociada a la pulverización de partículas neutras se observa una emisión de iones secundarios positivos y negativos, monocargados y policargados, monoatómicos y poliatómicos, siendo la naturaleza química de tales iones característica de los elementos presentes en el material.

Esta emisión es cuantificada por un rendimiento de ionización que da la cantidad de iones eyectados por ión incidente. Dicho rendimiento es fuertemente dependiente de la naturaleza de los iones primarios. En efecto, si bien es muy claramente inferior al rendimiento de pulverización para iones primarios químicamente no activos (Ar, Xe...), en cambio el rendimiento de ionización puede incrementarse en varios órdenes de tamaños utilizando iones químicamente activos tales como O_2^-, Cs+...

Por lo tanto, el estudio por espectrometría de masa de los iones secundarios emitidos permitirá un análisis de la composición superficial del objeto.

Existen varios modos de funcionamiento de la microsonda iónica. En estática, el SIMS es utilizado para determinar la composición química global de las capas superficiales, de 10 Å[4] a algunos micrones.

En dinámica, el sistema permite seguir la evolución por una erosión permanente de la superficie que da perfiles de concentración

[4] 1 micrón (μ) = 10 000 angstroms (Å).

Copyrighted material

en función de la profundidad. Por último, el SIMS iconográfico asocia una detección de los electrones y los iones secundarios con el barrido del haz incidente para visualizar el conjunto de la superficie examinada y la distribución de determinadas especies iónicas sobre esta superficie. Una aplicación que interesa a la criminalística es el campo de las pinturas multicapa de los vehículos.

Las características de los principales métodos de examen y análisis de las superficies están resumidas en el siguiente cuadro.

Nombre del método	Microscopio electrónico de barrido	Microscopio Auger de barrido	Microsonda electrónica	Microsonda iónica
Abreviación	*MEB*	*MAB*	*CASTAING*	*MSI O SIMS*
Partículas incidentes	electrones	electrones	electrones	iones
Partículas emitidas	*a)* electrones *b)* fotones X	electrones	*a)* electrones *b)* fotones X	iones
Profundidad de análisis	*a)* 100 Å *b)* 1 µ	5-20 Å	*a)* 100 Å *b)* 1 µ	5 Å
Resolución lateral	*a)* 100 Å *b)* 1 µ	2 000 Å	*a)* 100 Å *b)* 1 µ	1 µ
Sensibilidad	1%	10^{-3} - 10^{-2}	3.10^{-4}	10^{-9} - 10^{-6}
Precisión	10%	10-20%	1%	1%
Naturaleza de la información	*a)* Observación *b)* Análisis elemental	*a)* observación *b)* análisis elemental	*a)* observación *b)* análisis elemental	Análisis elemental y molecular
Posibilidades iconográficas	*a)* Sí *b)* Sí	*a)* Sí *b)* Sí	*a)* Sí *b)* Sí	Si

CUADRO 5.1. — Los métodos de examen y análisis de las superficies y sus diferentes criterios de análisis

Copyrighted material

1.10. *Los microscopios de campo cercano*

Desde comienzos de los ochenta, el análisis de las superficies experimenta una verdadera revolución, con la invención del microscopio electrónico con efecto túnel, que permite alcanzar resoluciones del orden del angstrom, vale decir, del orden del tamaño de un átomo. En 1986, los mismos inventores proponen otro tipo de aparato, el microscopio de fuerza atómica, tan fácilmente utilizable sobre conductores como sobre aislantes, cosa que no ocurre con el microscopio túnel.

1.10.1. El microscopio con efecto túnel

Como resultado de los trabajos de G. Binnig y H. Rohrer, laureados con el Premio Nobel de Física en 1986, la microscopia con efecto túnel aparece hoy como un poderoso método de análisis de las superficies a escala atómica.

El principio del microscopio con efecto túnel (MET) es barrer una punta metálica sobre una superficie conductora y medir la corriente túnel, o sea, el flujo de electrones que atraviesa la barrera aislante, cuyo espesor está dado por la distancia entre la punta y la superficie. A baja tensión aplicada entre la punta y la superficie, la corriente depende exponencialmente de esta distancia. La corriente, por lo tanto, decrece muy rápido, y en general la distancia entre la punta y la muestra es muy inferior a 10 Å. Los desplazamientos en tres dimensiones están garantizados por tres cerámicas piezo-eléctricas que gobiernan los desplazamientos de la punta. Una unidad de control mantiene la corriente constante durante el barrido de la punta sobre la superficie. Así, la menor variación del relieve o de la densidad electrónica sobre la superficie será compensada por una variación de altura de la punta para mantener constante la corriente.

La evolución decisiva aportada por Binnig y Rohrer fue el dominio del efecto túnel en el vacío, entre una punta fina y la superficie de una muestra. Entonces resultaba posible barrer esta superficie con ayuda de la punta y obtener de ese modo una imagen.

Las superficies de cristales metálicos o semiconductores, hasta el momento actual, constituyeron los principales sujetos de estudio de la MET. Pero las posibilidades ofrecidas por este nuevo método de análisis son mucho mayores. Una experiencia de microscopia por

Copyrighted material

efecto túnel, en efecto, puede ser realizada a la presión atmosférica, en un medio líquido, en una gran gama de temperaturas. Además, no está limitada al análisis de las superficies ordenadas ni a un estudio a escala atómica, así como lo testimonia la explosión actual de la cantidad de publicaciones consagradas al estudio de muestras biológicas.

1.10.2. El microscopio de fuerza atómica

La limitación fundamental del microscopio con efecto túnel (la muestra necesariamente debe ser conductora) fue soslayada por los trabajos llevados a cabo en microscopia de fuerza atómica por Binnig, Quate y Gerber en 1986, y muestra que esta técnica permite estudiar superficies aislantes.

El punto común de todas las microscopias de campo cercano es la punta, que debe ser lo más fina posible. A diferencia de la microscopia túnel, donde se detecta una corriente, en microscopia de fuerza atómica se trata de medir la flexión que soporta la punta mediante un haz láser que se refleja sobre la barra y el ángulo de reflexión y mide el ángulo de curvatura de la barra. Son las variaciones de ángulo las que se interpretan como variaciones de relieve sobre la superficie. Como en el efecto túnel, los desplazamientos en 3D son gobernados por una cerámica piezo-eléctrica. En general, lo que se desplaza es el soporte de la muestra, y la punta permanece fija.

Por cierto, estas nuevas técnicas van a cuestionar los métodos actualmente empleados y las opciones de su utilización en muchos campos, incluida la criminalística.

2. LA RUGOSIMETRÍA DE SUPERFICIE

La rugosimetría es la ciencia que se interesa en las variaciones de altitud en 2D (x,y) perfil o en 3D $z(x,y)$, cartografía tridimensional de la superficie de un material duro o un soporte flexible (papel, cartón...), y en su descripción con ayuda de herramientas surgidas de la estadística del procesamiento de la señal y también del análisis de las imágenes. A continuación damos dos aplicaciones de la rugosimetría en criminalística:

Copyrighted material

— para los manuscritos, la rugosimetría en 2D, que permite la evaluación del apoyo de la mano y de la presión digital;[5]
— para la balística, la rugosimetría en 3D, que permite establecer mapas balísticos de microindicios invisibles a simple vista.

2.1. *Utilización de la rugosimetría en 2D para los manuscritos*

2.1.1. Principio del perfilómetro

El perfil transversal del trazo entintado se mide con una extremada precisión por contacto mediante un palpador táctil. Un estilete unido a un captor inducido produce una variación de intensidad proporcional al desplazamiento del palpador. El procesamiento digital por computadora, mediante un perfil en 2D, reconstruye la topografía, jorobas y huecos, de la zona explorada. Entonces resulta posible medir la profundidad de los surcos procedentes de una escritura trazada con ayuda de un bolígrafo, una fibra o una pluma, pero también por un golpe de impresora de impacto (bola o margarita).

2.1.2. Material

Para medir los perfiles de escritura, jorobas y huecos, se utiliza un palpador de rugosidad de superficie del tipo "Hommel Tester T20 DC digital computer" de la empresa Hommel (Schwennigen).

El aparato comprende:

- un captor electrónico de inducción con punta de diamante, que tiene un radio de 5 µm y un ángulo de cono de 60°;
- una unidad de avance;
- una unidad central de comando y evaluación;
- un trazador de curva;
- una mesa de mármol de medida;
- una cuña-patrón de profundidad y una cuña-patrón de rugosidad para la verificación del ajuste del aparato.

[5] La contracción necesaria para sostener con firmeza el instrumento de escritura.

Copyrighted material

2.1.3. Modo operatorio

Tras haber verificado el ajuste del aparato y fijado el documento sobre la mesa de mármol, se desplaza la punta del palpador a velocidad constante, de izquierda a derecha y en forma perpendicular a los trazos entintados.

Se efectúa un primer relevamiento sobre el papel (testigo), que corresponde a la rugosidad real del soporte. Tras lo cual se efectúa un segundo sobre los trazos entintados de una palabra o una firma del documento que se debe examinar.

El perfil del primer relevamiento da la rugosidad media del papel, mientras que el del segundo da la rugosidad media total (papel + trazo entintado).

Las condiciones operatorias son las siguientes:

- longitud total de relevamiento: 25 mm;
- velocidad de desplazamiento del palpador: 0.20 mm/s;
- escala de medida.

abscisa	1 cm	=	1000 micrones
ordenada	1 cm	=	20 micrones

Expresión de los resultados

La elección de la escala de medida se hace en función del estado de superficie del papel y la profundidad de los surcos entintados.

Señalemos que la localización de los surcos entintados debe ser efectuada minuciosamente, por asignación de un punto de referencia cifrado.

Con ayuda de un tipómetro graduado, que permite apreciar el 1/4 de mm, o de una lupa provista de una retícula graduada al 1/10 de mm, se puede apreciar:

- el estado de superficie medio del soporte;
- la profundidad media total de los surcos entintados;
- la profundidad de cada uno de los surcos, efectuándose la medida a partir de la línea mediana del perfil que delimita la zona superior de las jorobas y la inferior de los huecos (surcos), vale decir, la única que nos interesa;
- el ancho de cada uno de los surcos.

Copyrighted material

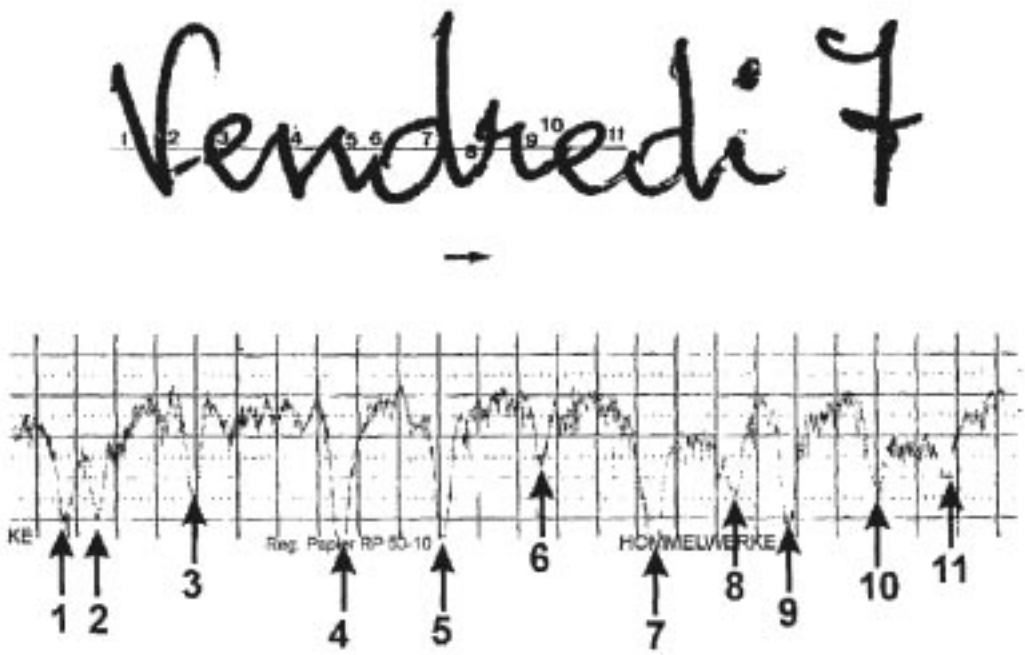


Figura 5.2. — Correspondencia de los trazos entintados palpados con las profundidades de rugosidad del perfil.

La rugosimetría de superficie en 2D se adapta totalmente al estudio de los surcos entintados. El perfil tipográfico obtenido permite medidas precisas del trazo (profundidad y ancho), lo que parece ser un elemento determinante para establecer la identidad o no de la mano entre dos manuscritos, incluso si la escritura del documento de marras fue disfrazada o disimulada. En consecuencia, vemos el interés que presenta un método semejante para la identificación de los autores de cartas anónimas, amenazas o reivindicaciones de atentados.

En cambio, los estudios germánicos de rugosimetría de superficie que permitían fechar los documentos manuscritos o dactilografiados resultaron decepcionantes por su imprecisión. El principio, basado en la retracción parcial de los surcos de las escrituras en función del tiempo, no es un elemento fiable, y de hecho depende de numerosos factores (naturaleza del soporte, humedad del papel, condiciones de conservación, etcétera) que no es posible dominar; de ello resulta una no reproductibilidad de las medidas.

2.2. *Utilización de la rugosimetría en 3D en balística*

La experimentación de la rugosimetría en balística debutó en octubre de 1988 en el Laboratorio de la policía científica de París. El es-

Copyrighted material

tudio fue realizado en colaboración con el profesor C. Roques-Carmes, director del laboratorio de microanálisis de superficie del ENSMM.[6] La prueba consiste en retomar los exámenes técnicos balísticos que se apoyan en el estudio de los rastros mecánicos relevados sobre las vainas y las balas, procedentes de piezas que están en contacto con las municiones (anchura de las estrías, rastros de eyector y extractor, no hélice del cañón...), de hecho, la firma del arma.

Un microscopio mecánico de barrido se concibió a partir de un perfilómetro clásico, acoplado a un conjunto de procesamiento de la señal y de análisis de las imágenes cuyo principio de funcionamiento es el siguiente: los incidentes de superficie son medidos ya sea por contacto, mediante un palpador táctil con punta de diamante, o sin contacto (método del corte óptico) por barrido láser.

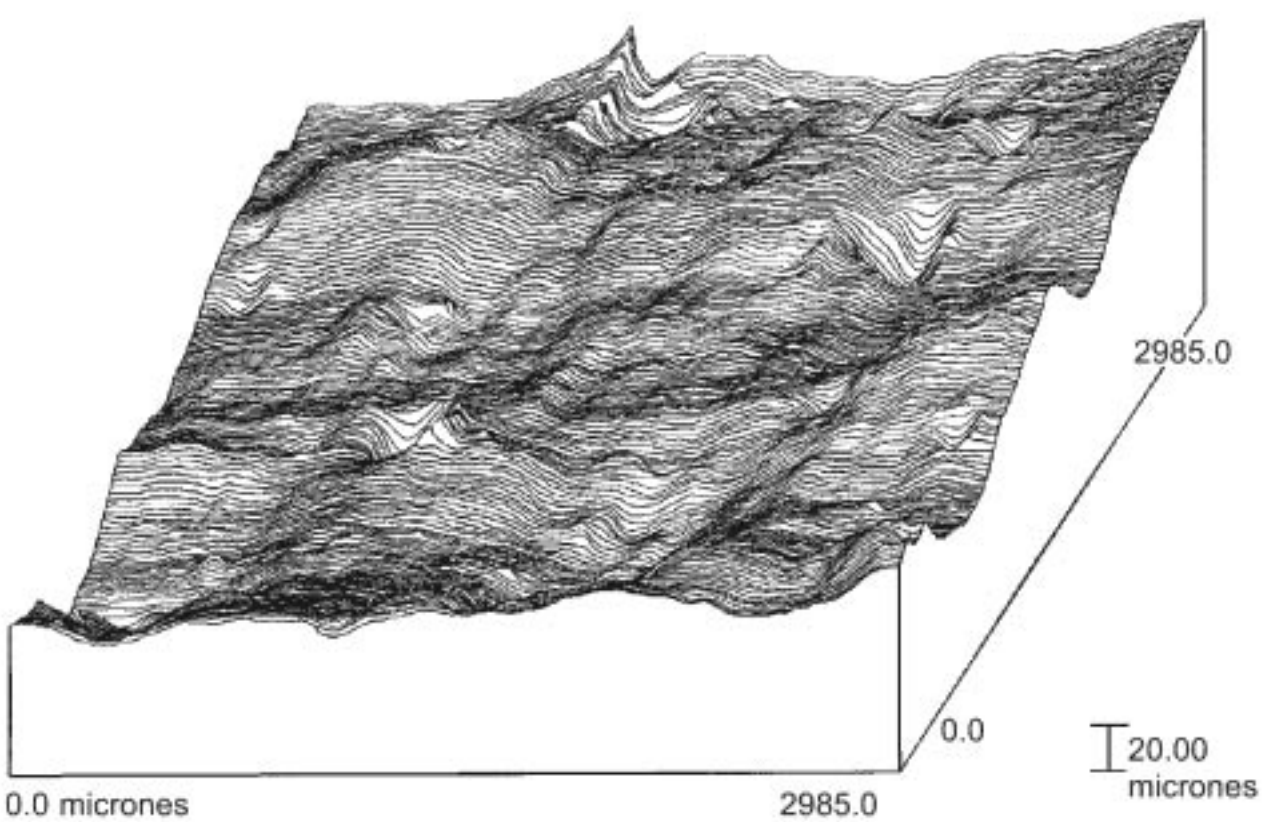


Figura 5.3. — Reconstrucción de superficie por procesamiento digital en curva de nivel.

[6] Escuela Nacional Superior de Mecánica y Microtécnicas, Besançon.

Copyrighted material

Se acopla un estilete a un captor inductivo, que produce una variación de intensidad proporcional a los desplazamientos verticales del palpador o la cabeza láser. Un procesamiento de señal digital mediante computadora reconstruye la imagen tridimensional de la superficie explorada a partir de la yuxtaposición sucesiva de 256 perfiles paralelos y rigurosamente espaciados. Una platina micrométrica gobernada por un programa informático garantiza paso a paso el desplazamiento de la muestra.

Para las estrías de los cañones es necesario efectuar un moldeado con ayuda de una pasta de silicona,[7] mediante un instrumental especial previsto a tal efecto.

Otro interés de este método es el analizador de imágenes que dota al aparato de una memoria de masa importante (CD-ROM, CD-Foto, DVD...), que permite constituir una base de datos de identificación sobre los casos anteriormente tratados a los que, desde ya, es posible remitirse para las comparaciones.

3. LOS MÉTODOS DE VISIÓN POR RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

El ojo puede ser asimilado a una cámara que transmite al cerebro formas y colores reflejados por la luz solar o artificial en el terreno de lo visible, entre 380 y 780 nm.[8]

Los colores del arco iris se distribuyen de 780 nm a 380 nm, comenzando por el rojo, anaranjado y amarillo, el verde, luego el azul y el violeta. Prácticamente, las radiaciones superiores a 700 nm son llamadas infrarrojas; las inferiores a 400 nm, ultravioletas. De 10 nm a 0.01, las radiaciones son llamadas rayos X (descubiertos por Röntgen en 1895), luego siguen los rayos gamma (una de las tres formas de radiación emitidas por los núcleos de los átomos radioactivos).

[7] En general se trata de pasta dental de baja viscosidad, categoría C. Es un material de precisión; su baja viscosidad, cuando se la utiliza con un endurecedor de alta viscosidad, permite la obtención de una huella extremadamente fiel. Este tipo de material también es utilizado para la toma de huellas de cabezas de impresión de máquinas de escribir (bolas o margaritas) para la identificación dactilográfica.

[8] 1 nanómetro (nm) = 1 mil millonésimo de metro.

Copyrighted material

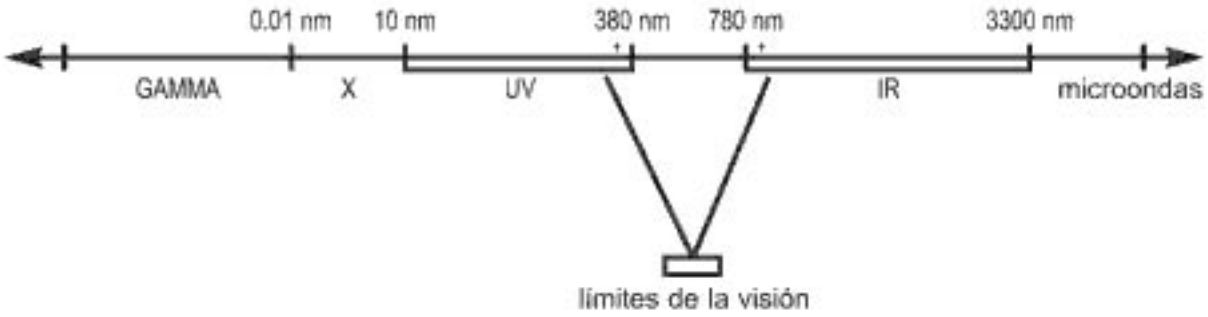


Figura 5.4. — Longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas.

A partir de 3 300 nm, las vibraciones electromagnéticas se llaman microondas; también se emplea el vocablo de "hiperfrecuencia".

Desde comienzos del siglo XX, los científicos pusieron a punto diversos aparatos (tubos convertidores, cámaras) o películas (radiografías X) que permiten una visión en las radiaciones invisibles al ojo.

3.1. *Las cámaras UV e IR*

Estas cámaras son ojos electrónicos que funcionan visualizando la reflexión de las radiaciones situadas fuera de lo visible, en las zonas de los ultravioletas o los infrarrojos.

La imagen es reproducida en blanco y negro en un monitor. Los ajustes se realizan en función de la densidad de las superficies observadas y la intensidad de las radiaciones.

Las máquinas utilizadas son cámaras Hamamatsu, que cubren la gama de las radiaciones infrarrojas de 760 nm a 2 200 nm y la de las radiaciones ultravioletas de 400 nm a 200 nm.

Este tipo de cámara generalmente está montada sobre comparadores videoespectrales, que son materiales especialmente concebidos para el estudio de los documentos.

3.2. *Los convertidores de imágenes*

Los fenómenos de luminiscencia no pueden funcionar en infrarrojo, porque generan una radiación de una longitud de onda superior a las de las radiaciones excitadoras emitidas por la fuente. Por lo tanto, no se puede formar una imagen infrarroja visible instantá-

Copyrighted material

neamente, como se lo hace en ultravioleta por fluorescencia o fosforescencia.

En 1930 se pusieron a punto unos tubos convertidores de imágenes para aplicaciones militares. Su principio es el siguiente: una imagen suministrada por una lentilla es proyectada sobre un fotocátodo sensible en el campo del infrarrojo. Sobre una pantalla fluorescente se recogen los electrones emitidos por cada punto de la fotografía bajo la influencia del flujo infrarrojo, tras haberle hecho seguir trayectorias rectilíneas. Un campo eléctrico acelera la velocidad de los electrones y los obliga a seguir caminos paralelos. El número de electrones emitidos en un punto por el cátodo y su velocidad son función de la energía recibida en ese punto. La intensidad luminosa de la pantalla fluorescente en el punto correspondiente es determinada por el número de electrones y su velocidad. A cada región del cátodo corresponde una región proporcionalmente iluminada de la pantalla fluorescente. Provisto de un ocular, el tubo convertidor de imagen permite visualizar inmediatamente la imagen infrarroja, con ayuda de un objetivo apropiado.

Alrededor de los años 1967-1970 aparecieron dispositivos convertidores adaptados al examen de los documentos,[9] y que permitían, sobre todo, hacer visibles y leer escrituras o cifras recargadas o antiguas, identificar las tintas y las huellas procedentes de estampillas húmedas, examinar los escritos que figuraban sobre documentos quemados o carbonizados, los cruzamientos de trazos para establecer el orden de aplicación, las firmas de obras maestras, visualizar las comunicaciones secretas (tinta simpática).

En 1980, David Ellen hizo construir, por encargo de los laboratorios de la policía de Londres y la British Library, un aparato pesado, el "comparador videoespectral",[10] que utiliza un sistema de video especialmente concebido para este uso: el silicon vidicon tubo, que había sido utilizado anteriormente por Richard en el laboratorio del FBI de Washington. Este material permite el examen en todas las longitudes de onda, entre 400 y 1 000 nm. Comprende una cámara de video en circuito cerrado con un monitor de alta resolución, un objetivo de foco variable hasta 6 x 6, una fuente ultravioleta de 16 W, una infrarroja de 40 W para observación en absorción y reflexión, una lámpa-

[9] Dispositivo convertidor de imágenes para observaciones micro y macroscópicas WILD M 500 (Heerbrugg).

[10] VSC-1 Video Spectral Comparator de Foster y Freeman Ltd.

Copyrighted material

ra halógena de 500 W, que no transmite más que una luz azul verde que conviene para los efectos de luminiscencia roja e infrarroja y por último un surtido de varios filtros linealmente variables y adaptados a la luz visible, los infrarrojos y los ultravioletas.

Más recientemente, algunos aparatos más compactos y menos onerosos son accesibles en el mercado. Es el caso de los aparatos puestos a punto por el departamento de investigación sobre las falsificaciones de la Royal Academy of Sciences de Londres.[11] Los aparatos están dotados de varias fuentes de iluminación y provistos de diferentes filtros de absorción según la demanda.

A título de ejemplo, el esquema siguiente da el nivel de transmisión de los principales filtros Wratten del comercio.

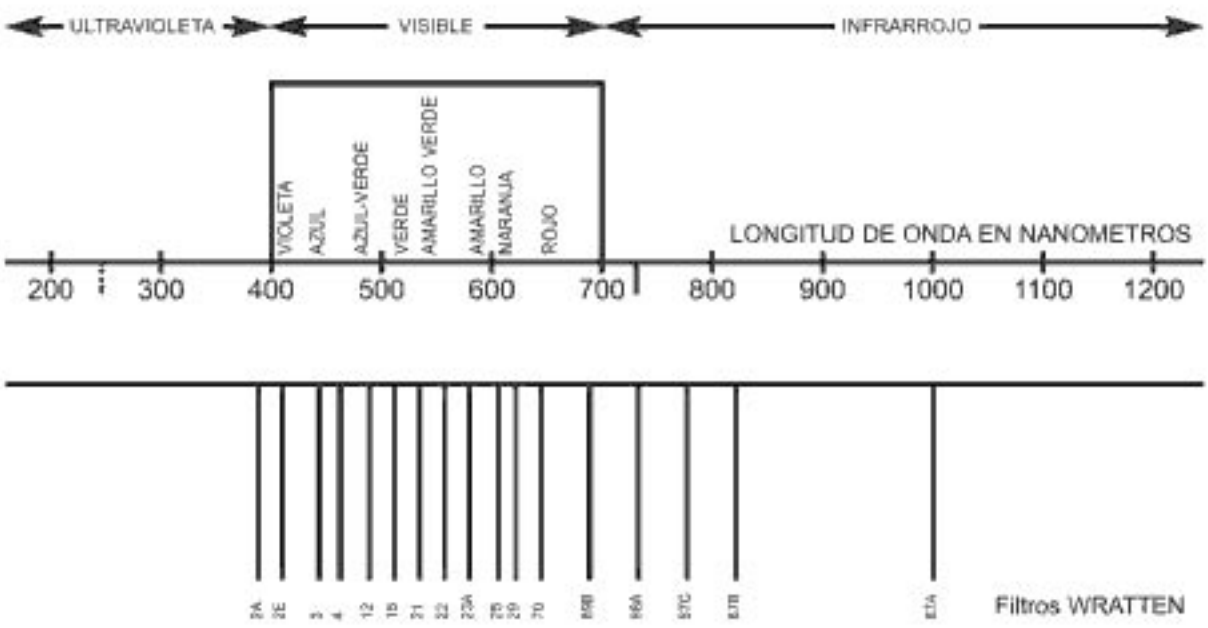


Figura 5.5. — Nivel de transmisión de los principales filtros de absorción.

En la actualidad, el comparador de video favorito, sin duda alguna, es el VSC-4C de Foster y Freedmann, que comprende una tecnología avanzada en el examen de documentos. La iconografía color e infrarroja, la potencia del zoom, la alta resolución de la cámara mejoran de una manera notable las capacidades de este tipo de instrumentos, que, por lo demás, puede ser acoplado a una configuración informática PC. Lo cual permite el archivado y una sensibilidad aumentada de la iconografía.

[11] ACO Electronics, tipo QDX 30 o 630 (Londres).

Copyrighted material

3.3. *Reflectometría infrarroja*

En reflectometría infrarroja se trabaja en una zona del espectro comprendida entre 1 000 y 3 000 nm (IR lejano). En estas longitudes de onda es posible leer marcas o inscripciones desvanecidas e invisibles que figuran sobre diversos materiales (pergamino, tela, cerámica, madera, piedra, pintura, etcétera). O sea, poner de manifiesto las capas subyacentes a la epidermis del soporte. Para poner en marcha esta técnica se pueden utilizar varias categorías de filtros:

— Los filtros pasa-bajo, que transmiten las longitudes de onda cortas e interceptan las grandes, vale decir, las situadas más allá del umbral espectral definido.
— Los filtros pasa-alto, que, contrariamente a los precedentes, transmiten las grandes longitudes de onda situadas más allá de un límite definido y detienen las cortas.
— Los filtros pasa-banda, que no dejan pasar más que un campo espectral comprendido entre dos longitudes de onda. La banda pasante puede ser estrecha o ancha.
— Los filtros linealmente variables, que permiten explorar en continuado una zona determinada del espectro.

Todos estos filtros se caracterizan por sus longitudes de onda de corte y la pérdida de la caída de transmisión en vecindad de dichas longitudes de onda.

El examen espectral resulta generalmente determinante en el estudio de los documentos. En muchos casos permite diferenciar los trazos entintados (añadidos) de textos, las diversas alteraciones (lavado, borrado, raspado), y también leer los trazos tachados.

3.4. *La termografía infrarroja*

La termografía infrarroja está basada en el principio de que todo cuerpo cuya temperatura supere el 0° K emite una energía de radiación electromagnética normalmente invisible, por el hecho de que, en general, está situada más allá de 0.7 µm, o sea, en el infrarrojo.

El espectro infrarrojo corresponde al campo de emisión de la materia, cuyas temperaturas son las que habitualmente se encuentran en la superficie del globo.

Copyrighted material

El espectro infrarrojo está dividido en tres grandes regiones según los detectores utilizables para descubrirlas.

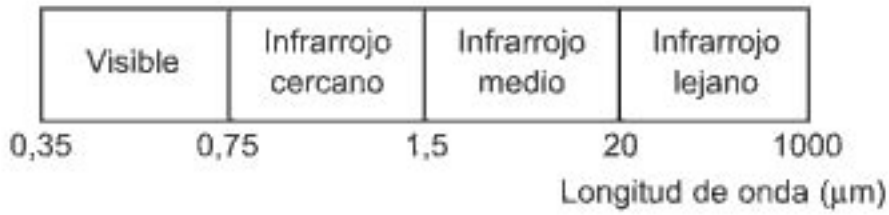


Figura 5.6. — Las zonas del infrarrojo.

- El infrarrojo *cercano* se detecta por las emulsiones fotográficas especializadas (hasta 1 µm), por células fotoemisoras y detectores fotoconductores y fotovoltaicos.
- El infrarrojo *medio* se detecta por los detectores térmicos, fotoconductores, fotovoltaicos.
- El infrarrojo *lejano* entra en el terreno de los detectores térmicos.

La medida de las longitudes de onda (λ) en el campo infrarrojo se hará esencialmente en micrómetros (µm).

En algunos casos, sobre todo en espectroscopia, la utilización del número de ondas tiende a generalizarse.

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} \text{ (en cm}^{-1}) = \frac{10^4}{\lambda \text{ (en µm)}}$$

Longitud de onda (µm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Número de ondas (cm^{-1})	10000	5000	3000	2500	200	1667	1429	1250	1111	1000	909,1	833,3	769	714,3	666,7

CUADRO 5.2. — Correspondencia entre la longitud de onda y el número de ondas.

La intensidad de esta energía aumenta en proporción a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del objeto (ley de Stefan-Boltzmann).

Las investigaciones emprendidas para la realización de un sistema capaz de convertir la radiación infrarroja en imágenes visibles condujeron al advenimiento de los tubos catódicos sensibles a los IR (Pyricons): esta técnica permitió realizar imágenes térmicas, lo que se llama la teletermografía (termovisión). Las cámaras de alta sensibilidad

Copyrighted material

Hidden page

3.6. *Lámpara de xenón*

El aparato Polilight PL6 es una fuente luminosa policromática que puede ser utilizada para producir un flujo luminoso potente y puntual, en longitudes de onda que van de 350 a 550 nm.

La elección de la región del espectro electromagnético se realiza mediante un juego de filtros que dan bandas pasantes de alrededor de 40 nm, en el ultravioleta, el violeta, el azul y el verde, y cuyas características se definen de la siguiente manera:

Color de la luz	*Longitud de onda central (nm)*	*Presencia del flujo emitido (mW)*
amarillo-verde	530	180
verde	505	260
azul	450	420
violeta	400	205
ultravioleta	340	185

CUADRO 5.3. — Características de las bandas pasantes entre 340 y 530 nm

Un ajuste del ángulo de incidencia de la luz sobre los filtros permite modular una longitud de onda específica en esas regiones.

Este instrumento puede ser utilizado para llevar a cabo una discriminación entre diferentes compuestos como las tintas, en función de sus propiedades espectrales.

Para ello se emplean principalmente dos métodos:

3.6.1. El método de fotoluminiscencia

Esta técnica se efectúa para detectar la presencia de moléculas (cromóforos)[12] que, al absorber la luz, pasan de su estado normal o fundamental al de excitación.

Este último estado es inestable, porque la molécula tiende a volver a su estado fundamental, perdiendo el exceso de energía.

Cuando la energía absorbida es reemitida en forma de luz, esta emisión se llama fotoluminiscencia. Cuando esta emisión es inmediata, el fenómeno se llama fluorescencia, y cuando es retardada, fosforescencia.

[12] Se dice de un grupo funcional que aporta el color a un compuesto orgánico.

Copyrighted material

Hidden page

fía industrial. La Compañía general de radiología preconiza la utilización de un aparato portátil provisto de un tubo de foco fino y una ventana de berilo, el Baltospot BL 100/5, que es utilizable desde 8 hasta 100 kV. Este tipo de aparato permite obtener imágenes de calidad y contrastadas de materiales cuyo coeficiente de absorción es pequeño. La radiografía es considerada como una prueba legal.

Las tensiones de utilización son función del espesor de las capas. Para las capas delgadas, o sea, muy transparentes, las tensiones son del orden de 5 a 30 kV. Para los objetos menos transparentes, sobre todo las pinturas sobre madera, cuya capa de preparación es espesa, las tensiones se escalonan entre 30 y 80 kV, con un tiempo de pose de 20 m/s.

En el caso de documentos o telas de pintores reconocidos, las películas utilizadas son películas industriales estándar o lentes que se disponen al revés de las pinturas enteladas, con tiempos de pose que varían de 20 a 90 m/s en función de la intensidad de la radiación y la distancia foco-película.

Sin embargo, para obtener una buena calidad de imagen, es deseable efectuar un estudio sensitométrico previo, para conocer la respuesta de una película determinada a diversas exposiciones, de manera de trabajar en la parte lineal de la curva sensitométrica de la película considerada.

La interpretación de las radiografías siempre es bastante delicada; por eso se recomienda remitirse a una radiografía testigo de una obra auténtica, y efectuar las comparaciones a partir de positivos en papel más o menos contrastados.

La radiografía permite constituir verdaderos documentos de archivo indispensables para el coleccionista, en caso de robo, cuando la obra comprende un insert plano de identificación invisible al ojo. Es la foto radio identitaria puesta punto por la Oficina central de objetos y marcas.

Muy recientemente, la radiografía puede ser digitalizada por la informática. El cliché puede ser retrabajado *a posteriori*. Es posible, por ejemplo, filtrar la imagen o jugar sobre el contraste para obtener una nitidez mucho más detallada.

El análisis cefalométrico de los clichés radiológicos permite la determinación del tipo constitutivo.

Copyrighted material

3.7.2. La escanografía

En los años setenta, el escáner revolucionó la iconografía médica, particularmente la tomografía, que permitía lograr radiografías en capas delgadas.

La escanografía o tomodensitometría es una técnica que consiste en procesar por computadora la información suministrada por la exposición a los rayos X. La fuente de rayos X se desplaza alrededor del objeto, y la cantidad de radiación recibida es transmitida a la computadora, que calcula sus densidades ópticas y reconstruye su imagen sobre un monitor. Así se obtiene la imagen en corte, una vista de conjunto que puede ser reconstruida gracias a una serie de cortes cercanos, con una resolución por debajo del milímetro.

Desde hace poco existe otro tipo de aparato, el "escáner helicoidal", que, gracias a programas especializados, permite la reconstrucción de imágenes en 3D, a veces en color.

En criminalística, la utilización de las técnicas radiológicas no se limita al estudio de las obras de arte. En 1991, el servicio de aduanas presentaba *Euroscan:* una máquina colosal, instalada en la entrada de Eurotúnel y capaz de engullir un semirremolque y visionarlo desde el motor a los ejes, pasando por el conjunto de la carga. Este aparato resultó de la mayor eficacia contra los tráficos internacionales de todo tipo (explosivos, drogas, armas, cigarrillos...).

4. LOS MÉTODOS DE LECTURA DE LOS TRAZOS EN SURCOS

La lectura de las estelas o surcos, viejos problemas del peritaje, está más que nunca de actualidad. Para reconstruir los escritos en surcos, antaño se utilizaba el método llamado del grafito, que consistía en espolvorear el documento con polvo proveniente de la mina de un lápiz (grafito o aleación de plomo). Con surcos muy profundos se obtenían resultados satisfactorios, y la escritura aparecía en negro sobre fondo más claro. Sin embargo, el documento procesado era manchado por el polvo, lo que era perjudicial para las investigaciones posteriores. Por esa razón, hoy esta técnica prácticamente ha sido abandonada.

Con la fotografía con luz rasante descripta en 1903 por R. A. Reiss, la experiencia muestra que los resultados son variables y a menudo

Copyrighted material

imprevisibles. En efecto, muchos parámetros interfieren y condicionan el modo operatorio. En realidad, la iluminación rasante destaca el surco por la sombra producida por su depresión.

En 1971, dos investigadores del College of Printing de Londres, Bob Freeman y Doug Foster, ponen a punto por azar el procedimiento electrostático, cuando trabajan en un nuevo método de detección de huellas digitales. Gracias a esta técnica, la hoja de un bloc de papel puede revelar lo que se escribió sobre hojas anteriormente desprendidas del mismo bloc. Algunos años más tarde, durante su comercialización, el aparato ESDA (Electro-Static Document Analyser) cosecha un gran éxito porque permite llevar a buen puerto la mayoría de los peritajes de documentos que comprenden surcos, pero con cierta reserva.

En efecto, en algunos casos, la fotografía con luz rasante da un resultado excelente, mientras que, en otros, la técnica electrostática resulta el único medio válido. Por eso, en la medida de lo posible, parecía preferible, en esa época, aplicar ambos métodos.

Muy recientemente, la aparición de las técnicas digitales cambió por completo los datos del problema, y rápidamente van a suplantar las técnicas tradicionales, sobre todo la fotografía con luz rasante, que requiere cierta habilidad del operador, y el método electrostático, cuyo instrumental es pesado y costoso y cuya prueba ESDA ahora resulta arcaica, tanto en su obtención como en su presentación.

4.1. *Fotografía con iluminación oblicua*

Esta técnica, también conocida con los términos de "luz rasante", "luz rizada o tangencial", consiste en iluminar el documento, en ausencia de luz ambiental, con un pincel luminoso prácticamente paralelo a su superficie o con una incidencia muy pequeña (inferior a 20°). La fuente luminosa utilizada puede estar ventajosamente constituida por una lámpara de fuerte coloración fría. Este método, muy antiguo, permite captar los accidentes en hueco y en relieve del documento. La menor saliente se destaca del plano del documento: de hecho, la iluminación rasante destaca el surco por la sombra que produce su depresión. La dificultad técnica reside en la determinación de un tiempo de pose correcto, habida cuenta de un nivel de iluminación débil. La práctica muestra que el tiempo de pose debe ser en general de 10 a 30 veces superior al tiempo de pose con luz normal.

Copyrighted material

— Materiales

Entre los medios utilizados para la obtención de un haz luminoso plano citaremos la interposición ante la fuente luminosa de un ocultador provisto de una ventana calibrada, cuya separación de labios esté comprendida, por ejemplo, entre 1 y 10 milímetros. Este tipo de ocultador también puede estar ubicado ante el reflector de un flash electrónico o ante una fuente luminosa más o menos tangencial.

Se utilizará un sistema óptico con prismas de nicol, que permitan canalizar el haz luminoso emitido por una lámpara de baja tensión (12 V, 150 W) a través de una lentilla semicilíndrica. También puede operarse con un proyector de cine provisto de una lentilla de Fresnel, una lámpara de espejo, y dos o cuatro postigos (iluminación llamada "tangencial").

— Modo operatorio

Para lograr buenos resultados, el documento por fotografiar debe presentar un buen planchado. Caso contrario, la aplicación de una placa de vidrio grueso (por lo menos 1 centímetro) sobre el documento permite remediarlo. Entonces, el haz luminoso se dirige al espesor de la placa, lo que difunde la luz de una manera homogénea sobre toda la superficie del documento, al tiempo que lo achata.

Otra técnica consiste en disponer el documento sobre un chasis aspirante que favorece la manifestación de las estelas. En efecto, las fibras de papel que no padecieron deformaciones mecánicas van a pegarse de una manera perfecta sobre la placa porosa del dispositivo. En cambio, las que sí las padecieron (estelas) conservan su relieve preexistente. Ya señalamos que la determinación del tiempo de exposición en función de la sensibilidad de la emulsión utilizada presentaba algunas dificultades. La práctica muestra que una doble toma facilita la legibilidad de la foto. Se efectúa la segunda con un tiempo de pose doble de la primera, pero bajo una orientación diferente, de modo de poner de manifiesto las letras de la zona mediana y aquellas con jambas y astas.

Cuando los surcos son de poca profundidad, puede manifestarse la imagen latente manchando la superficie del documento con polvo de grafito, de manera de hacer aparecer un texto blanco sobre fondo negro. También puede extenderse delicadamente con un pincel un polvo de granulometría fino cargado eléctricamente, por ejemplo un tóner de fotocopiadora.

Por último, se recomienda examinar también el reverso del documento con luz rasante: las jorobas que corresponden a los surcos del

Copyrighted material

recto a menudo son más visibles en él. Si se hace una toma, es necesario invertir el negativo al hacer la copia para enderezar la imagen.

Para las observaciones efectuadas con estereomicroscopio, se recomienda utilizar como iluminación rasante o luz fría un iluminador de fibra óptica, lo que permite la concentración de una fuerte iluminación homogénea en una zona reducida, para obtener una intensidad luminosa máxima sobre la imagen y una perfecta visualización en relieve.

4.2. *Procedimiento electrostático* ESDA *(Electro-Static Document Analyser)*

El documento se ubica sobre una bandeja de bronce poroso. Una bomba aspirante permite aplastar fuertemente el documento sobre la bandeja.[14] Luego se recubre el conjunto con un film de poliéster de un espesor de 5 micrones. La hoja es sometida a una descarga Corona (electrodo-alambre bajo alta tensión 5 000 V). Mediante un aerosol se pulveriza entonces un polvo revelador que se deposita preferentemente en los surcos (zona de deformación), vale decir, allí donde el soporte ofrece una resistencia menor a la corriente.

La imagen de la estela obtenida puede ser conservada recubriendo la hoja de poliéster[15] con un adhesivo transparente, lo que aumenta el espesor del conjunto, ya que la manipulación de un film de 5 micrones siempre es delicada.

Una variante consiste en depositar el polvo revelador en cascada, utilizando una mezcla binaria especial (microesferas + tóner), que garantiza una distribución homogénea sobre el documento. Para mejorar la legibilidad, se recomienda efectuar la manipulación sobre documentos que respondan a las normas de ensayo de los papeles (20° C, 60% HR), condiciones que se logran tras el pasaje por un humidificador adecuado.

En principio, esta técnica permite releer las estelas invisibles a simple vista con luz tangencial, y no altera el documento. No obstante, presenta algunos inconvenientes, porque, por una parte, no es aplicable a un soporte grueso (cartón, por ejemplo), que no permite una adherencia perfecta del soporte sobre el bronce poroso, y, por la

[14] Algunos fabricantes llaman Vacuum Box a este material.

[15] Politereftalato de polietilene glicol, película que presenta una alta resistencia mecánica (2 200 kg/cm^2).

Copyrighted material

otra, sólo se aplica a las estelas dinámicas (escritura y firma). La depresión de un texto dactilografiado no podrá ser releída.

4.3. *Las tecnologías digitales*

Por "tecnologías digitales" entendemos aquellas que son aplicables al procesamiento de los documentos que permiten la revelación de los trazos en surcos.

- Fotocopia digital.
- Captura de la imagen mediante un escáner con un programa especializado.

— Fotocopia digital

Una fotocopiadora digital está constituida por dos conjuntos separados: un "lector" encargado de analizar la imagen del original y una "impresora" que recepciona la señal emitida por el lector, la interpreta, y efectúa (o "imprime") una copia del original.

La función del lector es similar a la del conjunto de barrido de una fotocopiadora tradicional: el original es iluminado para que un sistema óptico pueda reconstruir una imagen. La diferencia principal reside en el hecho de que el lector no transmite la imagen propiamente dicha sino una señal eléctrica digital serial que representa todas las informaciones (las zonas oscuras y claras de la imagen) correspondientes al documento. La imagen de una banda estrecha del original es transmitida por intermedio de espejos y un objetivo que la focaliza sobre una hilera de fotodetectores. Cada uno de ellos sólo recibe la imagen de una zona muy pequeña (un elemento de imagen o "pixel") de esa "línea" de original. (Un desplazamiento continuo de esa "línea" permite procesar el conjunto del documento.)

Cada fotodetector produce una tensión analógica proporcional a la intensidad luminosa recibida. Estas tensiones luego son convertidas secuencialmente en una señal analógica serial, que, a su vez, es convertida en señal digital. Entonces es posible modificarla para cambiar la tasa de reproducción, invertir la polaridad de la imagen y producir otros efectos; esto es lo que se llama el "procesamiento de la imagen".

Tras haber sido procesada de este modo, la señal digital es transmitida por cable a la impresora, donde desencadena e interrumpe la

Copyrighted material

Hidden page

La experiencia muestra que, en muchos casos, las estelas (surcos) no pueden ser leídos correctamente por la técnica electrostática (prueba ESDA), mientras que la fotografía con luz tangencial en general es de todo punto de vista más concluyente. En la práctica, el espesor del documento (gramaje) representa un papel importante, y se debe eliminar la utilización del ESDA para soportes de un gramaje superior a 110 g/m^2 (documentos administrativos u otros) por la sencilla razón de que la aspiración sobre el bronce poroso no permite un achatamiento satisfactorio de la hoja, lo que es perjudicial para la manifestación de los surcos poco profundos. Las técnicas digitales parecen ser muy prometedoras y de una realización mucho menos delicada que la luz rasante o el aparato ESDA, que requieren cierta habilidad. Por último, recordemos que la técnica electrostática (aparato ESDA) es una inversión importante.

Copyrighted material

6. LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

Por "métodos de análisis" entendemos:

- los métodos cromatográficos;
- los métodos espectrométricos;
- los métodos radioisotópicos.

1. LOS MÉTODOS CROMATOGRÁFICOS

El análisis químico de estas tintas se realiza por cromatografía sobre papel o sobre capa delgada, lo que permite separar los distintos constituyentes, en particular los colorantes o los pigmentos de cada tinta.

1.1. *Cromatografía electroforesis sobre papel*

La cromatografía sobre papel fue utilizada por primera vez para la identificación de las tintas por Someford, en 1952.

El principio está basado en la división entre las fases fija y móvil, por diferencia de absorción de los constituyentes de la fase móvil (solvente) sobre la fase fija (soporte).

La extracción de las tintas se realiza mediante un líquido apropiado que contiene piridina.

El solvente (fase móvil) puede ser una mezcla de 3 metil-1-butanol, acetona, agua y amoníaco en las proporciones 50-50-30-0.4.

Al final de la cromatografía, cada componente es definido por su color en luz natural o bajo radiación ultravioleta y su distancia de migración (R*f*), que se mide en valor relativo:

$$Rf = \frac{\text{distancia recorrida por el componente}}{\text{distancia recorrida por el frente del solvente}}$$

Copyrighted material

La cromatografía, técnica en la cual los componentes son separados en función de su peso molecular, puede ser acoplada ventajosamente con la electroforesis, técnica que consiste, esta vez, en separar los componentes de la tinta sometiéndolos a un campo eléctrico (separación según la polaridad).

Para esto se utiliza el mismo papel que en cromatografía (Wathmann núm. 1 o 4), pero el solvente es remplazado por una solución tapón a base de amoníaco y acetato de amonio.

La fuerza de migración es suministrada por una corriente eléctrica continua, con una tensión entre los electrodos de 250 V, aplicada durante 1 hora, o de 100 V durante 2 días.

El modo operatorio es el siguiente:

- se efectúa una cromatografía ascendente sobre papel, luego se seca el cromatograma;
- se lo vaporiza con la solución tapón;
- se dispone el cromatograma en una cuba de electrodos, tras haberlo permutado en 90° de arco;
- se hace pasar la corriente continua entre los dos electrodos; los componentes se separan en función de su polaridad, las moléculas cargadas negativamente migran hacia el polo positivo, e inversamente para las cargadas positivamente.

La asociación de la cromatografía y la electroforesis permite obtener una separación bidimensional, y por tanto más precisa.

Por último, cabe señalar que también es posible comenzar por la electroforesis y terminar por la cromatografía, ya que el orden de las operaciones no tiene ninguna influencia sobre el resultado, puesto que se trata de técnicas complementarias.

Para los problemas urgentes, puede utilizarse una cuba de *Barollier,* de dimensiones 7.5 x 7.5 x 4 centímetros, que requiere la utilización de una pequeña cantidad de solvente (5 a 8 ml), lo que conduce a una saturación de la cuba casi inmediata, y cuyo principio es el siguiente: la banda de papel sobre la cual se desarrolla el cromatograma es enrollada sobre sí misma con interposición de una banda intermediaria en Teflón, que impide que sus espiras entren en contacto unas con otras. El rollo es mantenido por una envoltura hendida, y la extremidad de la banda de papel que sobresale se hunde en el solvente.

El aparato comprende una cuba dividida por un tabique en dos compartimientos, el más pequeño de los cuales contiene el solvente.

Copyrighted material

Hidden page

Hidden page

Hidden page

convertido en una herramienta de investigación indispensable para los laboratorios de policía científica. La primera aplicación concierne a la obtención del espectro de la hemoglobina y de la mayoría de sus productos de degradación, partiendo de una mancha de sangre, o las bandas de absorción de la clorofila, a partir de algunas células vegetales provenientes de una mancha de hierba.

De una manera general, se define un espectro como la distribución de la intensidad de una onda acústica, electromagnética o corpuscular en función de la frecuencia variable. En nuestro caso, sobre todo tomaremos en cuenta los espectros de las radiaciones electromagnéticas.

Tales espectros son característicos de las sustancias que los producen. Por consiguiente, puede definirse la naturaleza de un producto o una sustancia por el conocimiento de su espectro. Una gran cantidad de espectros de referencia fueron reunidos en forma de tablas que pueden ser almacenadas en discos ópticos, CD-ROM, CD-Foto o DVD.

Antes de entrar en el detalle de los diferentes aparatos destinados a la detección y el análisis de la distribución espectral de la energía en una onda electromagnética, conviene recordar algunas definiciones fundamentales.

— *Espectroscopio:* aparato que da la representación visual de un espectro, por ejemplo sobre una pantalla catódica. Para hacer espectrometría se necesita:
  - una energía excitadora electromagnética;
  - un aparato que produce el espectro de esa energía electromagnética, vale decir, su distribución sobre las diferentes longitudes de onda;
  - un medio de registro del espectro.

— *Espectrógrafo:* aparato que registra sobre una placa fotográfica o sobre un receptor fotoeléctrico u otro la imagen de un espectro.

— *Espectrómetro:* aparato destinado a la medida de la distribución de una radiación compleja en función de la longitud de onda o la frecuencia, si se trata de ondas; de la masa o la energía de las partículas individuales, si se trata de partículas. En un espectrómetro se distinguen cuatro partes: la fuente, el órgano "selectivo" (prisma, red interferométrica), el detector y, por último, el sistema de procesamiento.

— *Espectrofotómetro:* aparato que asocia un espectrómetro utilizado como monocromador y un dispositivo fotométrico que permite comparar la distribución espectral de dos radiaciones.

Copyrighted material

Por lo tanto, los métodos espectrométricos tienen por objeto poner de manifiesto los cuerpos químicos, por intermedio de sus propiedades físicas, las que están ligadas o a la molécula o a los átomos (espectrometría molecular o atómica), o a la masa del cuerpo (espectrometría de masa).

2.1. *Espectrometría de absorción molecular (UV visible IR cercano)*

Esta técnica de análisis, contrariamente a la cromatografía, no permite caracterizar las tintas en función de sus colorantes y pigmentos constitutivos, sino que suministra el espectro de absorción molecular de los extractos de tintas en un campo espectral situado entre 240 y 900 nm.

Este método es más rápido de poner en marcha que la técnica cromatográfica, porque no requiere más que cuatro etapas, dos de las cuales posee en común con la precedente: la realización de muestras (tintas para comparar y papel testigo), luego la extracción de la tinta soportada por los fragmentos de papel considerados.

Estos extractos luego son transvasados en microcubas de cuarzo, que a su vez serán ubicadas en el espectrofotómetro bihaz marca Shimatzu modelo UV-2101PC, por ejemplo.

Entonces se obtiene el espectro de absorción de la solución, o sea, la curva de variación de su absorción en función de la longitud de onda.

Las longitudes de onda de absorción máxima son entonces relevadas: ellas informan sobre el color de la mezcla del extracto y caracterizan la tinta.

A todas luces, esta técnica se aplica a las tintas actuales, pero sobre todo parece más apropiada para el estudio de las tintas antiguas que datan de comienzos del siglo XX.

2.2. *Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (IRTF)*

La espectrometría de absorción infrarroja es una técnica de análisis que permite identificar compuestos químicos a partir de la naturaleza de los átomos y las uniones que los constituyen. En efecto, cuando una molécula recibe radiaciones infrarrojas, absorbe energía, lo que aumenta la amplitud de las vibraciones atómicas, y libera luego ener-

Copyrighted material

gía en forma de calor. Como todos los átomos de una molécula son susceptibles de vibrar, los espectros emitidos en el infrarrojo pueden presentar muchas bandas de absorción, cada una de las cuales corresponde a un grupo de átomos vibrantes.

En principio, el aparato comprende un generador de rayos infrarrojos (lámpara), un sistema óptico dispersivo (monocromador con prisma o red) y un detector (célula fotoeléctrica o termocupla). El espectro obtenido comprende una o varias bandas de absorción que son características de la estructura de las moléculas analizadas. La espectrometría infrarroja con transformada de Fourier se hace a partir de un sistema óptico que comprende un espejo fijo, una hoja separadora y lentillas. Un detector acoplado a un interferómetro efectúa la suma de vibraciones y produce una señal llamada interferograma. La transformación matemática de Fourier mediante el algoritmo de Cooley y Turkey permite pasar del interferograma al espectro infrarrojo.

El infrarrojo con transformada de Fourier presenta muchas ventajas respecto del infrarrojo dispersivo. Mientras se requerían veinte minutos para registrar un espectro en infrarrojo dispersivo, ahora es suficiente una demora del orden del minuto. Además, la sensibilidad es mayor, y las cantidades de muestra necesarias menores. Por último, el infrarrojo con transformada de Fourier también permite barridos sucesivos sobre una misma muestra. Esta acumulación de medidas disminuye la relación señal/ruido de fondo y mejora la resolución. Como ejemplo, esta técnica conviene perfectamente para la identificación de los tóner de las fotocopiadoras o la caracterización de los materiales plásticos que se presentan en forma de films o de hojas de un espesor inferior a 200 micrones.

2.3. *Espectrometría de difusión molecular (efecto Raman)*

El principio consiste en iluminar puntualmente, a través de la óptica de un microscopio bajo fuerte aumento, un fragmento de materia, con ayuda de una radiación monocromática suministrada por un láser de tipo argón.

El examen de la luz difundida por ópticas compuestas de espejos, redes y hendiduras de entrada y salida, permite recoger y separar la radiación principal (raya de Rayleigh) de las radiaciones secundarias de intensidad más débil y longitud de onda diferente (efecto Raman).

Copyrighted material

El aparato comprende dos detectores monocanal, para los trabajos con fluorescencia de absorción o reflexión, y uno multicanal amplificado y enfriado, para el efecto Raman. Un sistema informático de procesamiento gobierna una caja de comando, para el ajuste automático de las hendiduras y el posicionamiento de las redes.

El espectro Raman es un espectro ampliado que comprende informaciones (frecuencias; intensidades; polarización; perfil de las bandas) que caracterizan sin ambigüedad un conjunto poliatómico (molécula, ión, o red cristalina). Esta técnica permite la identificación de cantidades muy pequeñas de materia, del orden del nanogramo, hasta del picogramo, con un nivel de irradiación láser muy débil, para evitar todo riesgo de degradación de la muestra. Por tanto, no es destructiva, ni siquiera para sustancias orgánicas sensibles a las acciones fotoquímicas o térmicas.

La espectrometría Raman encuentra una aplicación particularmente interesante en la identificación de los papeles por el análisis de los pigmentos blancos contenidos en las cargas o las capas de superficie, en el reconocimiento de los diversos pigmentos coloreados de las ilustraciones de los manuscritos o libros antiguos, y en la caracterización de los films plásticos utilizados como elemento de seguridad de los documentos administrativos o bancarios. También es una técnica no destructiva bien adaptada al análisis de las tintas grasas negras de los bolígrafos comerciales, así como a la determinación del orden de aplicación en los puntos de cruzamiento de los trazos.

2.4. *Espectrofotometría Raflar*[1]

Se trata de un instrumento pluridisciplinario en espectroscopia óptica. Este material está en servicio desde hace más de diez años en el Laboratorio de policía técnica y científica de París.

Fue especialmente concebido para responder a los cuantiosos problemas de criminalística a los que el laboratorio debe enfrentarse con regularidad. Este material, derivado de un aparato estándar de espectrofotometría de difusión Raman y de fluorimetría, deriva su originalidad del añadido de dos fuentes luminosas: una fuente de láser argón (20 Mw) y otra de luz blanca que antecede a otro sistema óptico simplificado de recolección de las radiaciones luminosas. Este

[1] Raflar: Raman Fluorescence Absorption Reflexion (empresa Dilor).

Copyrighted material

conjunto permite la selección de una radiación luminosa incidente, de longitud de onda conocida (lámpara de vapor de mercurio), o un barrido continuo del espectro visible (lámpara de cuarzo halógena). El mando del aparato se realiza por intermedio de una PC (ajuste de las hendiduras y posicionamiento de las redes).

En el nivel del principio de funcionamiento de la espectroscopia óptica, la energía que se pone en juego es transportada por una onda electromagnética (la luz) y materializada por partículas de fuerza llamadas fotones.

Las interacciones entre la energía luminosa y la molécula irradiada van a engendrar intercambios de energía.

En función de la identidad de dichos intercambios, la molécula puede encontrarse en diferentes niveles de energía creciente.

Estos niveles son:

— los niveles rotatorios, que materializan la energía de rotación de las moléculas;
— los niveles vibratorios, que materializan la energía de vibración de las moléculas;
— los niveles electrónicos, que materializan la energía de excitación de las moléculas.

Si la interacción es muy rápida, la energía absorbida por la molécula será débil. La molécula energizada liberará esa energía vibrando. Esas vibraciones serán entonces visibles por espectroscopia Raman.

No obstante, si la interacción luz/moléculas es más importante, estas últimas serán excitadas. Perderán su energía, ya sea por emisión de calor o reemitiendo luz: son los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia.

Pero una molécula puede no absorber la energía suministrada, y entonces se dice que hay reflexión de la luz.

Con las técnicas de absorción y reflexión, el "Raflar" va a permitir visualizar esas energías absorbidas o rechazadas.

La visualización de la pérdida de excitación de la molécula será mediante la técnica de emisión de fluorescencia.

Todos estos fenómenos de intercambios energéticos se materializarán entonces en la forma de espectros de rayas finas o bandas anchas.

Así, con el Raflar, se podrán observar las rotaciones y vibraciones de las moléculas mediante la espectroscopia Raman, mientras que las

Copyrighted material

Hidden page

La muestra que se debe analizar es vaporizada por un chispeo de alta tensión - alta frecuencia y excitada por un bombardeo electrónico para disociar los átomos en partículas cargadas eléctricamente (iones) que son reagrupadas en haz, el que es ubicado en un campo magnético orientado en forma perpendicular y que permite separar los iones según el valor de su masa. Para cada ión de masa diferente se forma una raya fotográfica que corresponde a la imagen de la hendidura de entrada del espectrógrafo. El ennegrecimiento de la raya es función de la concentración del ión en la muestra analizada. Esta técnica, por consiguiente, está bien adaptada para el análisis de los rastros, y, como resultado, de los elementos químicos de una muestra metálica.

2.7. *Espectrometría de emisión por plasma (ICPS)*[2]

Los átomos que constituyen la muestra son excitados por efecto térmico (plasma). Al volver al estado fundamental, éstos emiten radiaciones cuyas energías, y por consiguiente cuyas longitudes de onda, son características de los elementos excitados. La intensidad de cada raya del espectro es función del tenor del elemento químico que caracteriza.

El instrumental está constituido por tres partes principales: una fuente de excitación de la muestra, un sistema dispersivo que separa las radiaciones en rayas, un detector que recoge el espectro de las rayas formadas.

En la práctica, el plasma de argón requiere una micromuestra. Una solución líquida de dicha muestra es inyectada en forma de aerosol en la zona de excitación del plasma.

En el plano cualitativo, el aparato da un espectro que es función de la composición elemental de la sustancia analizada. En el cuantitativo, una batería de fotomultiplicadores mide las intensidades de una selección de rayas. Para cada uno de los elementos asociados a tales rayas, un calculador interno compara la medida de la intensidad de la raya (altura del pico) con la de un patrón, y muestra el valor de la concentración del elemento escogido.

Esta técnica permite analizar las aleaciones y detectar sobre todo la edad de los bronces según un muestreo establecido con arreglo a

[2] ICPS: Inductive Coupled Plasma Spectroscopy, comúnmente llamada "antorcha de plasma".

Copyrighted material

Hidden page

Todo elemento químico dividido en el estado atómico tiene la propiedad de absorber selectivamente radiaciones de longitud de onda característica, llamadas de resonancia.

Las lámparas de cátodo hueco emiten esas radiaciones que, dirigidas a través de la llama o el horno, serán tanto más absorbidas cuanto más elevada sea la cantidad de átomos absorbentes que provienen de la muestra.

Una célula fotoeléctrica detecta la radiación transmitida por la llama y mide la diferencia de intensidad que existe entre el haz absorbido y el haz directo.

Esta diferencia de intensidad está ligada a la concentración de los átomos absorbentes contenidos en la solución analizada. El método de análisis destruye la muestra, y requiere disponer de por lo menos algunos mililitros a algunas decenas de mililitros de solución. La sensibilidad experimental es mucho más elevada si se opera con el horno de grafito. En este caso, algunas decenas de microlitros bastan.

Esta técnica de análisis elemental conviene perfectamente para la manifestación y dosificación de elementos metálicos y anfotéricos (cobre, plomo, bario, antimonio...) que provienen del detonador de una munición.

2.10. *Espectrometría de multirreflexión con dirección privilegiada (difracción X)*

La difracción X permite identificar los compuestos químicos a partir de su estructura atómica. La unidad fundamental de un cristal es la malla; y el conjunto de todas las mallas constituye una red cuyos nudos son definidos por la posición de cada átomo. El conjunto de los nudos de una red está organizado en familias de planos paralelos y equidistantes llamados planos reticulares, siendo la distancia entre dos planos vecinos la distancia reticular.

Cuando se bombardea una muestra con una radiación emitida por un tubo de rayos X, el rayo incidente es difractado por la muestra, según un ángulo igual al ángulo de incidencia y según la relación de Bragg $2d \operatorname{sen} 0 = n \lambda$, en la que λ es la longitud de onda del rayo incidente, n un múltiplo entero de la longitud de onda, d la distancia reticular y 0 el ángulo del haz reflejo.

Conociendo la longitud de onda del rayo incidente, y midiendo el ángulo de difracción con ayuda de un goniómetro, se puede calcular

Copyrighted material

la distancia reticular del cristal difractante. Las tablas dan la naturaleza del cristal de la muestra, en función de la distancia reticular: es el análisis radiocristalográfico.

Una variante de esta técnica puede ser aplicada a las muestras finamente pulverizadas (pólvoras), utilizando una cámara cilíndrica llamada de Debye-Scherrer. Este procedimiento permite la obtención de un diagrama cilíndrico de rayas de difracción concéntricas, a partir de una radiación monocromática sobre una muestra policristalina (pólvora cristalina o sólida microcristalizada) animada de un movimiento de rotación propio.

La muestra es sometida a un haz monocromático de rayos X, generado por un anticátodo de cobre. Los rayos cónicos difractados por la muestra impresionan una película fotográfica que tapiza la pared cilíndrica de la cámara. Sobre la emulsión, las diferentes rayas difractadas se traducen por arcos simétricos respecto del punto central del haz directo transmitido. A partir de las longitudes medidas directamente sobre el cliché (radiograma) se calcula las distancias reticulares correspondientes a las diferentes rayas. También existen tablas que dan directamente el valor de la distancia reticular, frente al ángulo de difracción para el anticátodo utilizado.

La difractometría de rayos X puede ser efectuada a partir de tomas minúsculas. Conviene perfectamente para la identificación de los pigmentos de las ilustraciones de libros o manuscritos antiguos, o de pinturas de obras maestras.

2.11. *Espectrometría de fluorescencia X*

La espectrometría comprende una fuente de rayos X que excita la materia que se debe estudiar, un cristal analizador giratorio que, según el ángulo de incidencia, separa las diferentes reflexiones emitidas por la muestra, y un contador (detector de fotones) asociado a un goniómetro graduado al 1/100 de grado de arco. La excitación provoca la expulsión de los electrones situados en las capas internas cercanas al núcleo de los átomos; las moléculas se encuentran entonces en un estado inestable. La nueva disposición de las capas atómicas provoca la emisión de fotones X (fluorescencia), cuya energía es característica del átomo emisor que se debe detectar, y luego separar, para constituir un espectro.

Para los elementos ligeros se utiliza un contador de flujo gaseoso de argón, y, para los más pesados, un centellador (cristal de yoduro de

Copyrighted material

sodio). Hay que destacar una interesante combinación del cristal y el contador de flujo gaseoso (detector universal). El centellador colocado detrás del contador detecta los fotones que éste no absorbe.

La longitud de onda de la radiación incidente no es conocida, pero el cristal difractante y su distancia reticular sí: lo único que queda es medir el ángulo de difracción con el goniómetro. La fórmula de Bragg permite calcular la longitud de onda. La identificación del elemento se realiza por lectura sobre una tabla.

La espectrometría también permite un análisis cuantitativo, por comparación con una muestra de composición conocida (método del patrón interno). El espectrómetro generalmente está concebido para analizar muestras planas, de pequeñas dimensiones (algunos centímetros). Con materiales de composición homogénea, el análisis cuantitativo puede ser realizado directamente sobre la muestra. Con materiales heterogéneos, hay que proceder a una toma y una preparación antes del análisis.

Una de las grandes ventajas de la fluorescencia X es no destruir la muestra, que posteriormente podrá ser reanalizada, por ejemplo en el caso de un contraperitaje.

3. LOS MÉTODOS RADIOISOTÓPICOS

En los casos difíciles, tres técnicas radioisotópicas no destructivas resultan útiles para poner de manifiesto o alteraciones aportadas a documentos o la presencia de tóxico (arsénico, cianuro, estricnina...) en el cabello; y, por último, la detección de impurezas en cantidades infinitesimales contenidas en los pigmentos utilizados por los artistas pintores puede permitir una datación.

3.1. *Betagrafía*

Esta técnica radioisotópica utiliza una fuente plana de carbono 14, emisora de partículas β[3] de baja energía. El documento que se debe

[3] Las partículas β son electrones negativos emitidos durante la desintegración de ciertos radioelementos; tienen energías tales (algunos Kev a algunos Mev) que pueden ser utilizadas cómodamente para radiografiar los papeles.

Copyrighted material

controlar se dispone entre la fuente y una película fotográfica. Los electrones son más o menos absorbidos según la masa superficial de material encontrado, cualquiera que sea su naturaleza. En la práctica, los tiempos de exposición son del orden de una o algunas horas. La betagrafía permite el estudio de las disminuciones o modificaciones locales de la textura de los soportes (raspados y borrados), de las sobrecargas de tintas más o menos ricas en pigmentos pesados, de la transparencia de las hojas de papel y cartón, y de las filigranas.

3.2. *Activación neutrónica*

El método consiste en irradiar la muestra que se debe estudiar en un flujo neutrónico[4] (californio 252) de un reactor nuclear. Al captar un neutrón, los núcleos atómicos estables se transforman en isótopos[5] inestables que se distinguen emitiendo una radiación compuesta de electrones y rayos γ. La medida de la radiación γ permite identificar el núcleo emisor, en función del periodo del isótopo. Por último, una medida de la intensidad de la radiación indica la proporción del isótopo en la muestra examinada.

En la práctica, tras activación en el reactor, la muestra es analizada por centelleo de un espectrógrafo gamma que traduce en forma numérica o gráfica la intensidad de las radiaciones en función de su energía.

Esta técnica encuentra aplicaciones en criminalística en la dosificación de ciertos elementos de residuos de tiro, pero también en materia de documentos para detectar los lavados, las correcciones y adiciones con tintas diferentes.

3.3. *Utilización de un trazador*

Esta técnica de origen soviético es muy parecida a la anterior; consiste en fijar, de ser posible preferentemente en las zonas de alteración (raspados, lavajes, correcciones, heterogeneidad de las capas protectoras), un trazador radiactivo emisor de rayos β o γ blandos.

[4] Por fusión espontánea, el californio 252 emite un flujo de neutrones relativamente intenso (2.54×10^9 neutrones S^{-1} mg^{-1}).

[5] Los isótopos de un elemento se diferencian por un núcleo formado por la misma cantidad de protones pero una cantidad diferente de neutrones.

Copyrighted material

Hidden page

7. LA IDENTIFICACIÓN Y LA AUTENTICACIÓN HUMANAS

Cada persona se distingue de cualquier otra por un conjunto de características físicas y morfológicas que le son propias. La identificación, entonces, consiste en reunir las características específicas de cada individuo para determinar de una manera rigurosa y objetiva su identidad en todas las épocas de su existencia. Las técnicas de identificación pluridisciplinarias se aplican, por un lado, a los individuos vivos, y por el otro a los cadáveres.

1. LA IDENTIFICACIÓN DE LOS INDIVIDUOS (*ANTE MORTEM*)

1.1. *La filiación antropométrica*

A Alphonse Bertillon[1] le debemos el primer método de identificación que permite recuperar el nombre de un reincidente mediante su filiación antropométrica.

A Bertillon se le ocurrió sistematizar las búsquedas y facilitar las comparaciones clasificando las fotografía por grupos bien determinados. Ante todo divide todas las fotografías por colección de individuos de la misma altura, de 5 en 5 centímetros. Teniendo en cuenta un reincidente, se sabe a qué grupo ir a buscar su retrato. Luego ese grupo, que todavía está constituido por un millar de imágenes, es subdividido a su vez en grupos secundarios basados en la longitud de los pies, por ejemplo. Este nuevo grupo es dividido una vez más en otros grupos basados en el color de los ojos, la longitud de la cabeza, etcétera. Así, en definitiva, termina por obtener colecciones de un centenar de fotografías que es posible examinar con rapidez. El reincidente es rápidamente encontrado. El método es simple y parece práctico (F. O. del 20 de julio de 1882).

[1] Alphonse Bertillon, *Une application pratique de l'anthropométrie*, Annales de Démographie Internationale, París, Masson, 1881.

Copyrighted material

De hecho, la filiación descansaba originariamente en once medidas óseas cuya distribución estadística se estudiaba, que se caracterizaba gráficamente por histogramas de distribución de las frecuencias de forma gaussiana. Este método de filiación tropieza con numerosas críticas (errores instrumentales o individuales, variaciones en el curso de la vida, identidad de las medidas entre los gemelos...), por eso el método de Bertillon sólo se ofrece a título histórico, porque en la actualidad ha sido totalmente abandonado en todo el mundo.

También a Bertillon le debemos la fotografía señalética, más conocida con el nombre de fotografía antropométrica. Hace ya mucho tiempo que los servicios de la identidad judicial de todas las policías del mundo fotografían a todos los individuos que de cerca o de lejos hallan participado en una investigación judicial. Estas fotografías son realizadas en condiciones operatorias específicas. La cabeza del individuo está derecha sobre los hombros, la mirada dirigida al frente, de tal manera que la línea óculo-tragiana (línea que une el ángulo externo del ojo y el trago) forme con la horizontal un ángulo de 15° de arco.

Originariamente, las tomas eran tres: de perfil derecho (la oreja siempre era visible), de frente, de 3/4 (mirando el sujeto a su derecha). En algunos casos particulares, debidas al uso habitual de anteojos o peinados, las tomas de frente y de 3/4 podían duplicarse.

En la actualidad, la toma de 3/4 fue remplazada por una "en pie", destinada a fijar una actitud, una silueta, un aspecto general (reducción teórica: 1/20).

Aunque el procedimiento hoy parezca anticuado, las fotografías todavía prestan un gran servicio para alimentar los discos ópticos (CD-ROM, CD-Foto, DVD) de los puestos de trabajo informatizados.

1.2. *La filiación descriptiva*

La filiación descriptiva pone en marcha las herramientas de reconocimiento de los delincuentes y los reincidentes.

1.2.1. El retrato hablado

A comienzos del siglo XX, Bertillon va a abandonar el método de las mensuraciones óseas, que no es de ninguna utilidad para la búsqueda de los individuos en libertad, en provecho de una técnica de descrip-

Copyrighted material

ción exacta, detallada y sistemática de los elementos del rostro humano o "retrato hablado", que puede aplicarse a cualquier ser humano que circule en libertad. Se trata de una estimación visual, mediante una terminología especial, habida cuenta del vocabulario corriente, que no posee términos precisos salvo para algunas formas exageradas (barbilla prominente, nariz de boxeador...). La utilización de las diversas características morfológicas del rostro es completada por observaciones cromáticas: color y matiz del iris, del cabello, de la barba o características particulares: cara tajeada, cicatrices, tatuajes, calvicie, invalideces...). Hay que señalar que la conformación de la oreja es uno de los elementos más discriminantes.[2] No existen dos orejas idénticas, ni entre los individuos ni entre los gemelos.

El sistema del retrato hablado permite realizar fichas descriptivas detalladas y concisas.

1.2.2. El retrato-robot

En 1952, el comisario Chabot, de la policía judicial de Lyon, demostró las posibilidades del retrato-robot en el caso del homicidio de Eugénie Bertrand.[3] Chabot puso a punto su técnica recortando fotos convenientemente escogidas en tres bandas horizontales:

— Banda superior: frente, cabello, arcadas superciliares y eventualmente anteojos.
— Banda intermedia: nariz y ojos.
— Banda inferior: boca, parte baja del rostro, eventualmente bigotes.

Las bandas están pegadas sobre regletas deslizables cuyo desplazamiento mutuo permite diferentes combinaciones de elaboración del retrato (visto de frente).

En un primer tiempo, el investigador presenta las fotos completas al testigo, que designa la más parecida; en un segundo tiempo, se remplaza una u otra parte de esa foto por elementos de comparación correspondientes.

[2] A. V. Iannarelli, "L'identification par les oreilles", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 221, 1968.

[3] En 1951, el detective dibujante Al Valanis de Chicago puso a punto un "cuadro caracterobiológico", que comprendía 28 tipos de nariz, una docena de frentes, con más o menos cabello, 18 tipos de orejas, una veintena de labios. Su primera reconstrucción facial permitió el arresto de Red Smith.

Copyrighted material

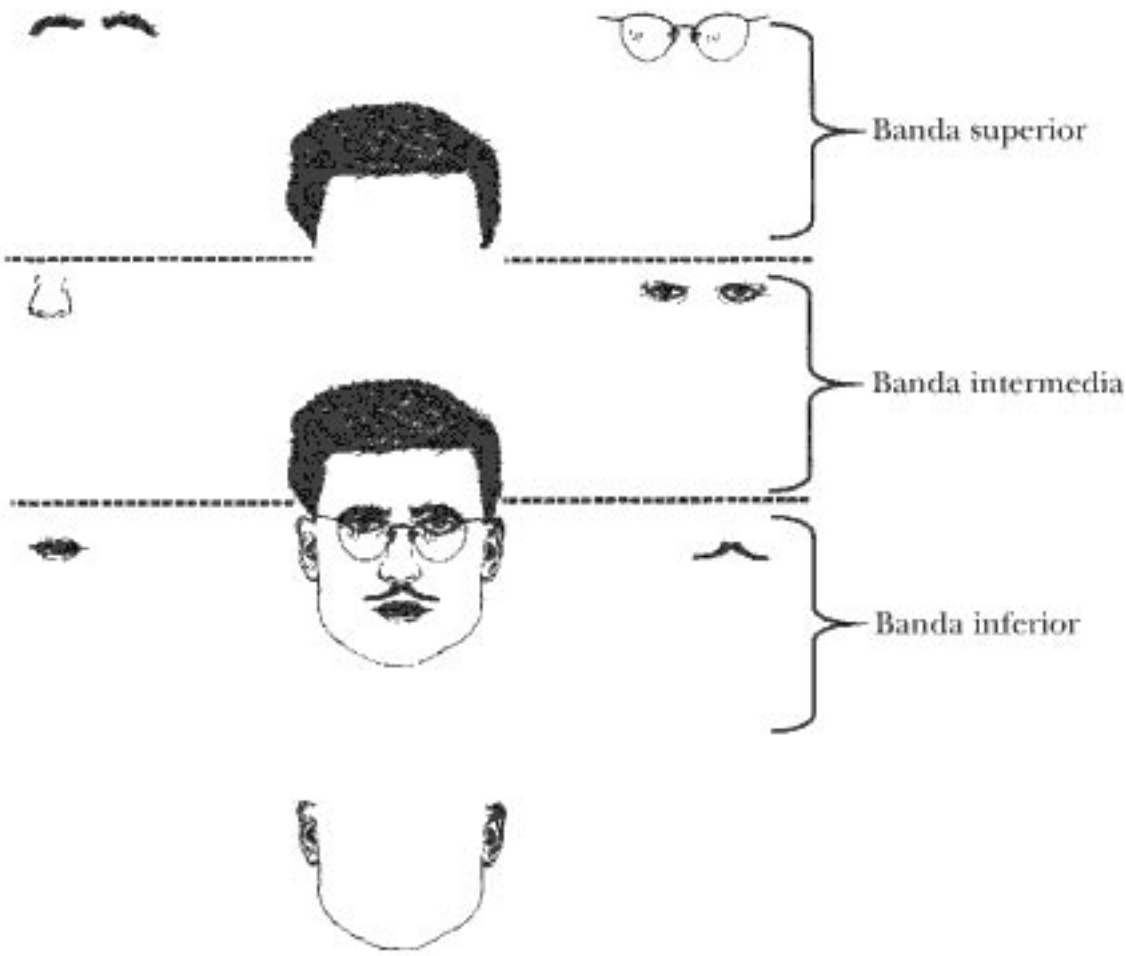


Figura 7.1. — Principio del retrato-robot.

Algunos decenios después del sistema Chabot, otras versiones[4] más sofisticadas aparecieron en el mercado.

• *El procedimiento Identi-Kit (norteamericano)*

Este procedimiento fue creado por Hugh Mac Donald, jefe de la Civil División de Los Angeles, a partir de 40 000 fotografías que representan cuantiosos tipos humanos tomados en todo el mundo. Comprende 500 transparencias divididas en doce categorías, según los elementos que figuran en ellas (cabello e inserción, mentón y forma del rostro y orejas, ojos, cejas, nariz, boca y labios, anteojos, bigotes, barba, sombrero).

[4] Existen otros procedimientos: MIMIC (Multiple Image Maker and Identification Compositor) por proyección simultánea de seis films (Estados Unidos). El sintetizador japonés Minolta Montage Unit permite trabajar con cualquier foto de un formato corriente.

Copyrighted material

Los retratos se elaboran por superposición de cierta cantidad de transparencias pertenecientes a las diferentes categorías. Las combinaciones del *Identi-Kit* son innumerables (620 mil millones de rostros diferentes).

• *El procedimiento* PIK[5] *(alemán)*

El sistema divide el rostro en cinco bandas horizontales numeradas: cabello y frente; ojos y cejas; nariz, boca, mentón, cuello, hombros. Comprende 1 millón de elementos y por combinación permite 320 mil millones de retratos.

• *El procedimiento Foto-Fit (inglés)*

Este sistema, el más utilizado en Europa, apareció en Gran Bretaña en 1970. Presenta la particularidad de estar compuesto de fotografías verdaderas y no de elementos dibujados. Las fotografías están descompuestas en cinco partes: tres bandas horizontales (ojos, cejas, nariz, boca), dos piezas semicirculares (mentones y mejillas, cabellera, frentes y orejas). Los diversos elementos están reunidos en función de las declaraciones del testigo en un marco de material plástico. Pueden aplicarse algunos retoques, sobre todo en el nivel del mentón y la frente. El retrato obtenido se aproxima a una fotografía verdadera.

• *El procesamiento informatizado, el Stic-Canonge*

En un primer tiempo fueron las versiones manuales las que se automatizaron. Es lo que ocurrió con el Comfoto-Fit, derivado del procedimiento Foto-Fit. Aparecieron otros sistemas: el compus-ketch (Estados Unidos) y el E-Fit (Gran Bretaña), que están basados en la reconstrucción de un retrato a partir de la descripción verbal de un rostro.

En 1987, la PTS toma la decisión de informatizar el fichero manual Canonge, instalado a partir de 1950, en una comisaría de Marsella, permitiendo la identificación de los delincuentes a partir de las descripciones de testigos o víctimas de infracciones. La realización del sistema de procesamiento de la información criminal (Stic) prosiguió durante varios años, pasando por diversas etapas de acondicionamiento para finalmente desembocar en la instalación de una he-

[5] PIK (*Personen - Identifizierungs - Kartei*).

Copyrighted material

rramienta informática dotada de un programa Odisea particularmente satisfactorio, "el Stic Canonge".[6]

Existen dos tipos de configuraciones informáticas: una versión simplificada sin medios de video y una completa con gráficas y su procesamiento. No parece útil dar aquí los detalles de los sistemas. Señalemos que cada ficha comprende tres tipos de datos (la persona, el hecho, la filiación). La eficacia de esta herramienta surge de las estadísticas de la policía judicial del ministerio del Interior, que indica que en un solo año estas consultas permitieron la identificación de más de 10 000 delincuentes y la resolución de cerca de 1 000 casos.

En 1995, la empresa canadiense InterQuest puso a punto un programa trilingüe (francés, inglés, español) de creación de retratos-robot FACES,* versión 3.0,[7] concebido a partir de cuatro mil características faciales y que permiten realizar un retrato-robot de calidad fotográfica en menos de media hora. Este programa, que se vende en CD-ROM, es muy fácil de utilizar, y tiene un precio inferior a cincuenta dólares.

Figura 7.2. — Programa FACES 3.0.

La eficacia del programa se demostró en febrero de 2000: una mujer violada en Detroit utilizó por su cuenta el FACES para establecer un retrato-robot de su agresor, que, difundido durante un programa de televisión, permitió el arresto del criminal.

[6] El Stic-Canonge fue validado conjuntamente por la Dirección Central de Seguridad Pública y el Servicio Central de Procesamiento de la Información Judicial.

* Rostros. [T.]

[7] Http://www.camelot.ca/fr/speciaux/faces.

Copyrighted material

1.3. *Las técnicas fotométricas y de procesamiento de la imagen*

1.3.1. Los métodos fotométricos

Fue al profesor Brash, de la Universidad de Edimburgo, a quien, en 1935, se le ocurrió la idea de utilizar la superposición de fotografías para identificar restos humanos. Este método resultó muy útil para elucidar el caso Buck Ruxton, el médico que descuartizó a su mujer y a la niñera de sus hijos, y cuyo proceso tuvo una gran repercusión en Gran Bretaña.

Él imaginó un procedimiento ingenioso para demostrar que los cráneos encontrados en Moffat eran probablemente los de Isabella Ruxton y Mary Rogerson. Comenzó por hacer ampliar fotos de Isabella Ruxton y de Mary Rogerson a escala 1 (formato en tamaño real). Después fotografió los dos cráneos haciéndoles adoptar un ángulo de toma tan cercano como fuera posible al de las cabezas en las fotos.

Luego, a partir de las fotos tamaño natural de los cráneos y los retratos, las características faciales de cada víctima fueron transferidas sobre hojas de papel transparente. La superposición de los contornos de los retratos y de los cráneos muestra una similitud sorprendente. Se emprendieron otros trabajos fotográficos para producir imágenes negativas y positivas de los cráneos y los retratos. Su superposición produjo resultados de lo más concluyentes.

Figura 7.3. — El caso Ruxton (1935) es el primer caso de identificación por fotometría. A la izquierda, el retrato de Isabella Ruxton, en el medio el cráneo del cadáver, a la derecha la mezcla de los dos negativos, que revela una perfecta coincidencia de las características faciales.

Copyrighted material

Fue tal el éxito en esa época que este método muchas veces fue utilizado por los científicos, aportándole algunas mejoras técnicas para otras identificaciones, entre las cuales tenemos: el caso Bobkin (Gran Bretaña, 1943), el caso Plumaago Pit (Ceilán, 1947), el caso Lebries (Canadá, 1955), el caso Pancham Sukla (Pakistán, 1960), el caso Renate (Alemania Federal, 1975), y más recientemente para la identificación de ladrones a mano armada: el caso Fernández (Francia, 1977), Taureau (Francia, 1985), Rose, Ritz y Reilles (Francia, 1986); Ibelaiden (Francia, 1987).

• *Superposición fotográfica*

Una vez comprobada la compatibilidad de ciertos elementos morfológicos, he aquí como se aplica el método de superposición fotográfica.

Se utiliza una cámara de galería que emplee películas planas de 9 x 12 a 20 x 25 cm, o una cámara réflex de formato 6 x 6, 6 x 7 y 4.5 x 6 cm del tipo Mamiya o Hasselblad, así como diversas grillas transparentes con cuadriculado calibrado, que se recortan a pedido al formato del negativo o del vidrio despulido.

Como ejemplo, nosotros generalmente utilizamos una grilla transparente que comprende una retícula 5 x 5 mm de 144 casilleros (formato 6 x 6), 168 casilleros (formato 6 x 7), 432 casilleros (formato 9 x 12), etcétera, que viene en superposición.

La posición de cada casillero se localiza de una manera precisa por sus coordenadas: en el caso presente, 14 graduaciones en la abscisa y 12 en la ordenada.

Para un ángulo de toma:

— Se efectúa una toma del sujeto o el documento de marras en el formato 6 x 7 cm, por ejemplo.
— Se coloca el negativo así obtenido sobre el vidrio despulido de la cámara fotográfica, sobre el cual es deseable superponer la grilla que mejor se adapte para encuadrar cierta cantidad de puntos de referencia (puntos prominentes, protuberancias, posiciones).
— Se efectúa una fotografía de comparación con la misma relación de aumento o reducción; así obtenemos un segundo negativo.
— Se superponen ambos negativos: el de la fotografía problema y el de comparación. El montaje se fija con ayuda de cinta adhesiva.

Copyrighted material

Hidden page

La toma de imágenes se realiza con una cámara digital o un escáner de alta resolución óptica, 1 600 x 1 200 puntos por pulgada.

Las operaciones de procesamiento se ejecutan mediante una tarjeta especializada de análisis de imagen gobernada por una computadora de alta gama, que también garantice el archivado en discos ópticos (CD-ROM, CD-Foto, DVD) para una utilización posterior.

La impresión de las imágenes se realiza en calidad fotográfica, integrada al sistema.

La configuración derivada del QDX-MAS:

— procesador Pentium MMX (450 MHz);
— 64 Mb de memoria viva;
— 10 Gb sobre disco duro;
— dos pantallas SVGA de 17";
— una tarjeta de captación de imágenes;
— una tarjeta fotográfica;
— un comparador de video espectral;
— pizarra y estilográfica electrónica;
— un escáner para uso profesional;
— dos cámaras de video color;
— un reproductor de doble casetera con 2 cabezas de lectura de video;
— una impresora láser blanco y negro con escala de grises;
— una impresora color de calidad fotográfica;
— varios programas especializados, entre ellos Photoshop, versión 5.0.

El operador puede iniciar la mezcla seleccionando el ángulo de toma: frente, perfil, tres cuartos, etcétera.

Como las dos imágenes (problema y de comparación) deben superponerse electrónicamente, es necesario redimensionar una u otra hasta la obtención de la misma escala gráfica, para lograr una coincidencia ideal, o de una superposición, o de un montaje por yuxtaposición de cortes.

El interés de este material radica en el hecho de que el procesamiento de las imágenes no está ya exclusivamente reservado al campo de lo visible sino que también se aplica a las longitudes de onda del ultravioleta y el infrarrojo.

Copyrighted material

Por otra parte, existe un programa norteamericano de L. Sadler y S.T. Barrows[9] destinado a la búsqueda de niños desaparecidos. A partir de una imagen digital, permite modificar el rostro de un niño por el de un adolescente en función del envejecimiento facial, que por lo general no excede una decena de años, porque, una vez mayores, los desaparecidos no presentan tanto interés.

1.3.3. El videógrafo de lectura láser

Cuando se trata de manipular imágenes sobre soporte magnético (casete de video), se utiliza un material adaptado, el videógrafo. Este aparato permite visionar y extraer con precisión fotos que interesan a la investigación (caso de asaltos con armas de fuego, manifestaciones callejeras, atentados...).

La configuración de un videógrafo es extremadamente variable. El Servicio Central de Documentación y Difusión del Ministerio del Interior posee un material de lo más sofisticado. El conjunto comprende una batería de reproductores y monitores que permiten leer la mayoría de las cintas de video que existen en el mercado. Además comprende una mesa de montaje, un decodificador, que permite pasar diferentes normas de video, sobre todo el NTSC (3.58, 4.43) que se utiliza en los Estados Unidos, Japón, y cuya frecuencia no es la misma que la de la norma europea PAL o francesa SECAM.

Este tipo de material permite un análisis fino, imagen por imagen, y una descomposición cuadro por cuadro de un movimiento. Si la imagen presenta una calidad mediocre como resultado, por ejemplo, de un fenómeno de *tracking*, las estrías nevosas pueden eliminarse y mejorar la definición. También es posible proceder a inserciones, o sea, introducir una imagen en otra imagen según contornos determinados (índice de marcación, etcétera).

La utilización principal del videógrafo es el estudio de los casetes de video y las cámaras de vigilancia de las agencias bancarias o de locales protegidos.

[9] Creadores del Department of Biomedical Visualization de la Universidad de Illinois, Chicago. El sistema de envejecimiento descansa en una abundante documentación en materia de escultura facial.

Copyrighted material

1.4. *Identificación por las huellas digitales*

Para las generalidades, remitimos al lector al capítulo 3, § 3. Por lo que respecta a la dactiloscopia y la dactilotécnia, para ser exhaustivos debemos ofrecer las siguientes precisiones referentes a la clasificación de las huellas y la fórmula digital.

1.4.1. Clasificación y fórmula por fichas

Existen dos clasificaciones:

- Una primera clasificación en 5 grupos del servicio central de la identidad judicial, derivado del método Galton-Henry. Los dermatoglifos están simbolizados diferentemente según se encuentren en los índices o en los otros dedos.
- Una segunda clasificación extendida en 9 grupos de la identidad judicial de la prefectura de policía de París, que es más precisa.

En cuanto a la fórmula digital, se obtiene por la atribución a cada huella relevada, en un orden determinado, del símbolo correspondiente al grupo a que pertenece. El orden de los relevamientos difiere según los métodos, pero debe ser inmutable para cada uno de ellos.

En cuanto la frecuencia de una fórmula es elevada, es menester afinar la búsqueda con ayuda de factores secundarios tomados del dibujo de la huella (conteo de las líneas de Galton).

1.4.2. Sistema informatizado

Los sistemas AFIS (véase el capítulo 3, § 3.7) reducen considerablemente el tiempo de búsqueda respecto de los ficheros manuales, con una seguridad prácticamente absoluta, ya que la computadora elimina los errores y olvidos.

La identificación por la huella digital siempre es de actualidad. Por ejemplo, el 5 de mayo de 2000, un grupo comando de unos diez hombres enmascarados y armados asaltó un furgón blindado de la empresa Ardial en Nanterre y logró apoderarse de un botín de 23 millones de francos. Uno de los dos guardias, gravemente herido, falleció rápidamente. Una simple huella papilar dejada en uno de los coches que sirvieron para bloquear el furgón permitió localizar rápidamente a uno de los truhanes, Loïc D..., fugado y "señalado"

Copyrighted material

gracias a los informes de un soplón en un apartamento del China-Town del distrito XIII de París.

1.5. *Identificación por los tests de ADN (huellas genéticas)*

Cada individuo difiere de su vecino por características morfológicas o biológicas particulares. Así como es posible identificar a un individuo por sus huellas digitales, ahora también es posible reconocer a una persona por las diferencias incluidas en su ADN (huellas genéticas).[10]

1.5.1. Reseña histórica

En 1985, un equipo de investigadores británicos, dirigido por Alec J. Jeffreys[11] de la Universidad de Leicester, publica en la famosa revista *Nature* un estudio totalmente sorprendente.

El caso tiene en su origen un problema de inmigración. Los servicios británicos de inmigración niegan el derecho de entrada a un joven ghanés que deseaba reunirse con su madre, residente en el Reino Unido. Los exámenes habituales de grupo sanguíneo, factores rhesus y otros "marcadores" de la sangre no habían permitido inferir si el niño era el hijo o el sobrino de la mujer que pretendía ser su madre. Únicamente el análisis directo de la información genética, contenida en la molécula de ADN, de uno y otra, permitió establecer la filiación sin ambigüedad. Entonces se dio la autorización de inmigración.

Era la primera vez que Scotland Yard apelaba a las técnicas modernas de biología molecular, para identificar a un individuo por el establecimiento del carnet de identidad genético.

De ahí en más, la determinación de la huella genética (la secuencia de ADN) a partir de los líquidos biológicos es una de las técnicas de identificación más eficaces en el Reino Unido. La técnica fue utilizada en el primer caso criminal donde estuvo implicado Colin Pitchfork,[12] un habitante del Leicestershire que había asesinado a dos niñas, Lyn-

[10] La huella genética de un ser vivo involucra tanto a las bacterias, plantas y animales como al hombre.

[11] A. J. Jeffreys, *Nature*, 317, 818 (1985).

[12] Colin Pichfork fue reconocido culpable de la violación y asesinato de Lynda Mann y Dawn Ashworth. Fue condenado el 21 de enero de 1988 a cadena perpetua. La demostración científica fue efectuada por comparación del ADN sanguíneo del homicida con el ADN del esperma tomado sobre las dos víctimas.

Copyrighted material

da Mann y Dawn Ashworth, en 1983 y 1986. El caso es conocido con el nombre de "homicidios de Narborough". Un éxito que le valió a Jeffreys una reputación internacional y terminó por convencer a sus pares. Cien años después del inicio de la utilización de las huellas digitales, finalmente los investigadores disponen de una segunda técnica de identificación.

1.5.2. El código de barras de los genetistas

Identificar a un ser viviente supone que sea diferente de otro. De hecho, con excepción de los gemelos verdaderos, todos los individuos de una misma especie son genéticamente distintos. En otras palabras, existe una enorme diversidad genética en el seno de cada especie: es lo que se llama el *polimorfismo genético*. Durante mucho tiempo, la comparación entre individuos se hizo de manera indirecta, con ayuda de "marcadores", testigos de la diversidad genética. En el hombre, los marcadores más clásicos son los grupos sanguíneos y los grupos HLA (de histocompatibilidad) propios de cada individuo, y que se caracterizan por anticuerpos específicos. Un conjunto de proteínas, como algunas proteínas de la sangre o las enzimas, también son excelentes marcadores del polimorfismo genético: se los identifica por el método llamado de electroforesis unidimensional. El resultado se vincula con una suerte de "código de barras"[13] para los genetistas, característico de cada individuo.

Es el documento de identidad genético. A partir de 1975 se puso a punto un nuevo método, la electroforesis en dos dimensiones, que permitía estudiar el conjunto de las proteínas de una muestra.

Poco más o menos simultáneamente, los progresos de la biología molecular tornaba accesible al análisis la molécula de ADN, lo que permitía comparar a los individuos en el nivel de su material genético.

1.5.3. La naturaleza de las muestras

En el ser humano, todas las células del organismo contienen en su núcleo la totalidad del patrimonio genético de 46 cromosomas, que

[13] En el laboratorio, ínfimas cantidades de ADN son multiplicadas y luego separadas mediante un procedimiento de biología molecular y clasificadas en un campo eléctrico en función de su tamaño, siendo los más pequeños los que llegan más rápido a la parte inferior de la cuba. Así es como aparecen los códigos de barras característicos.

Copyrighted material

están repartidos en 23 pares. Entre el hombre y la mujer existe una diferencia de morfología del último par, cuya herencia está ligada al sexo. La cantidad cromosómica (cariotipo) está constituida por 22 pares de cromosomas autosomas y un par de cromosomas sexuales, gonosomas (*xy* en el hombre y *xx* en la mujer). Las células sexuales (óvulos y espermatozoides) sólo contienen una mitad de cromosomas desparejados. Sin embargo, esta particularidad no es un obstáculo para el análisis del esperma. Por otra parte, los glóbulos rojos, que son células anucleadas, vale decir, desprovistas de núcleo, no excluyen la utilización de la sangre como muestras, porque otros elementos figurados, como los glóbulos blancos, sí lo poseen.

De hecho, todo tejido o líquido biológico contiene células nucleadas[14] (saliva, cabello, pelo, hueso, orina, secreción vaginal, sangre, pulpa dental, piel, etcétera).

En la práctica, en el caso en que deban efectuarse tomas sobre una cantidad importante de personas sospechosas, las muestras sanguíneas (toma de sangre) pueden ser ventajosamente remplazadas por muestras bucales (saliva), utilizando una legra, cuya realización es más rápida y de un costo mucho menos elevado.

1.5.4. Los métodos de identificación por tipificación de ADN

Se designa como "identificación genética" la técnica bioquímica de manifestación de secuencias altamente específicas presentes en el patrimonio hereditario (ADN) de todo individuo. La identificación genética sólo tiene un valor comparativo; el documento genético establecido a partir de un indicio no es en sí mismo útil, salvo que pueda ser comparado con el documento genético establecido a partir de una muestra biológica de referencia tomada de un sospechoso, un testigo o una víctima.

Los métodos de identificación pueden ser realizados *ante mortem* o *post mortem*.

A fines de 1994, a pedido del profesor Ivanov, el laboratorio médico-legal de Aldermaston, al oeste de Londres, identificó la osamenta de la zarina Alexandra y sus tres hijos comparando su ADN mitocondrial (herencia de la madre) con el del príncipe Felipe de Edimburgo, cuya abuela materna era la hermana de la zarina. Para la identificación

[14] El cabello y el pelo imperativamente deben poseer el bulbo, donde están situados los elementos nucleados. En cuanto a las manchas de esperma, éstas sólo son utilizables en presencia de espermatozoides.

Copyrighted material

del zar Nicolás II, los ADN de comparación se tomaron sobre su nieto Rostislav y sus primos de la familia de Grecia.

Los resultados son concluyentes: 799 secuencias idénticas sobre las 800 que presenta el documento genético de los Romanov.

Principio del análisis

El ADN (ácido desoxirribonucleico) está contenido en el núcleo de todas las células nucleadas del organismo. Es una molécula gigante de alrededor de 3 mil millones y medio de bases o nucleótidos, y cuya estructura se presenta en forma de dos cadenas[15] enrolladas en espiral que lleva el nombre de doble hélice. Estos nucleótidos, cuyas bases son de cuatro tipos diferentes, representados por las letras A (Adenina), C (Citosina), G (Guanina) y T (Timina), se unen específicamente de a dos (A-T/G-C). Esta complementariedad permite la unión de las dos cadenas entre sí.

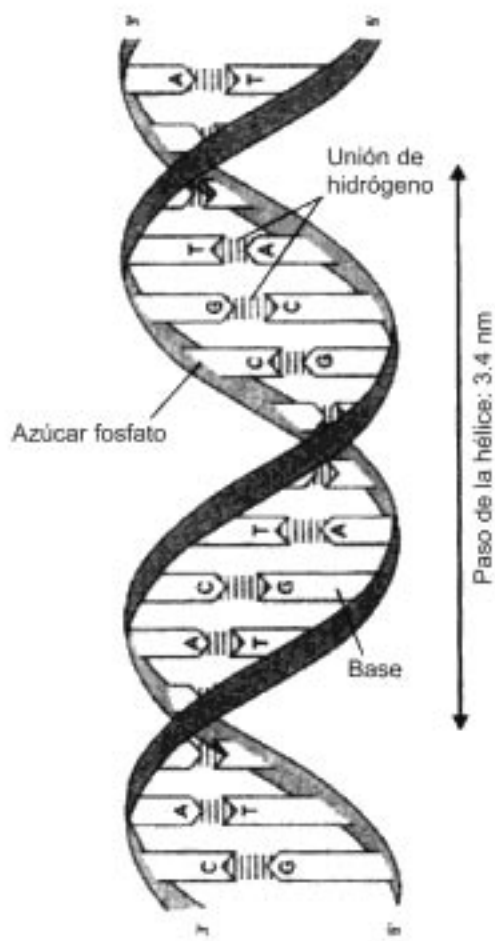


Figura 7.4. — Doble hélice de Crick y Watson (1953).

[15] El ADN está formado por dos cadenas de 3.10^9 nucleótidos, constituyendo cada una de ellas el conjunto del genoma de un individuo. La doble hélice de ADN, así como las moléculas ácido nucleicas, son visibles en microscopia electrónica a condición de extenderlas y depositarlas sobre soportes compatibles con la observación en microscopio.

Copyrighted material

Hidden page

- Sondas *monolocus*, que reconocen una unidad de base repetida en cantidad variable sobre un solo cromosoma (*locus* único). Como los cromosomas están asociados por par, se visualizarán entonces dos fragmentos de tamaño variable para un individuo.

Éste es el método de referencia. Posee un muy fuerte poder discriminante (es capaz de individualizar un perfil genético entre varios miles de millones), pero el umbral de detección es elevado (necesita aproximadamente 5 000 células nucleadas).

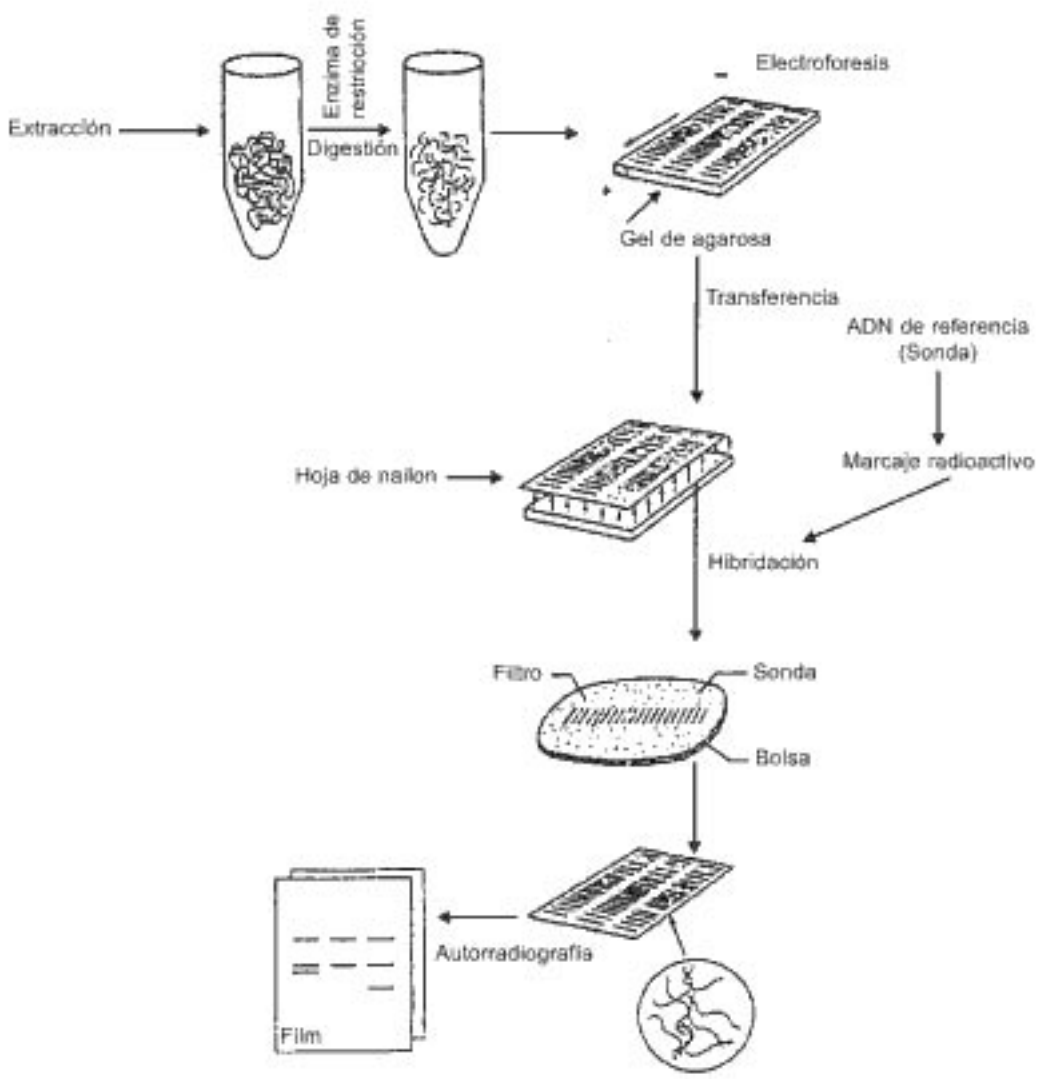


Figura 7.5. — Técnica de Southern (modo operatorio), según O. Pascal y J.-P. Moisan.[17]

[17] Laboratorio de genética molecular del CHR de Nantes.

Copyrighted material

La hibridación es el reconocimiento, mediante la sonda, de su complementario entre todos los fragmentos de ADN. La sonda que no queda fijada se elimina por sucesivos lavajes. La detección se hace mediante autorradiografía (contacto con un film radiológico). El resultado aparece en forma de bandas (dos para las sondas simple *locus*, una multitud para las sondas *multilocus*). A estas bandas se dará el término de *alelo*.

En cada experiencia se incluyen testigos, que permiten controlar las diferentes etapas de la reacción.

La segunda técnica PCR (caso de una muestra bucal) es mucho más sensible (requiere de 50 a 100 células, o sea, 0.5 ng de ADN), pero mucho menos discriminante. Tomamos como ejemplo la identificación de un individuo a partir de la saliva, cuya débil cantidad de ADN impone la técnica de amplificación del ADN, vale decir, *la copia de la región variable en presencia de una enzima específica*.

Extracción del ADN de la saliva

Diferentes variantes de una técnica de extracción de la saliva fueron preconizadas por Walsh y Coll (1992), según la naturaleza de las muestras (saliva fresca, estampillas y sobres, manchas o colillas, etcétera), que en general no plantean ningún problema particular. Para las estampillas y los sobres engomados, el ADN se extrae tras centrifugación por una mezcla que comprende 0.7 ml de una solución tapón (pH 7.6) y 35 µl de Proteinasa K[18] en una concentración de 20 mg/ml. El procesamiento por el Chelex® y una concentración sobre membrana Centricon® puede estar asociado a los métodos precedentes.

Amplificación del ADN

Una serie de ciclos idénticos (25 a 35) permite copiar de manera exponencial una secuencia inicial de ADN. Cada ciclo comprende tres etapas: una de desnaturalización (el ADN doble rama se separa en dos ADN simple rama, una etapa de fijación de los cebadores sobre la molécula de ADN matriz (= límites situados en cada extremidad de la región que se debe amplificar, una etapa de síntesis de la rama complementaria en la rama del ADN matriz situada entre los dos cebadores. La revelación de los productos de amplificación se realiza tras elec-

[18] Boheringer Mannheim Biochemicals.

Copyrighted material

troforesis (separación de los fragmentos amplificados bajo el efecto de un campo eléctrico), ya sea por coloración de los fragmentos de ADN por el bromuro de etidio o por el nitrato de plata, o por detección mediante un rayo láser de los fluorocromos acoplados a los cebadores (instrumental de secuenciadores automáticos ABI 377 o ABI 310).

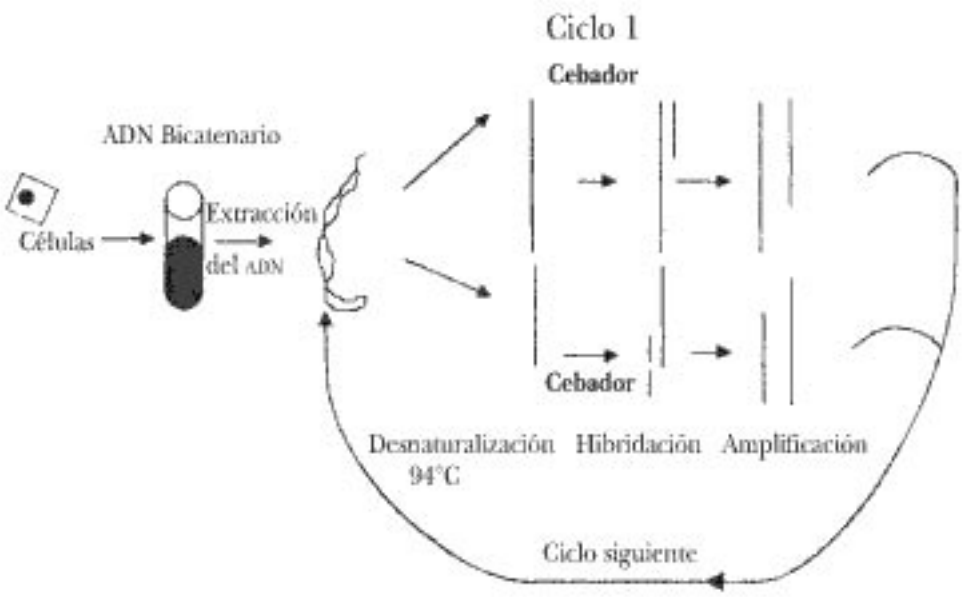


Figura 7.6. — Esquema de principio de la técnica PCR, según Christian y Françoise Doutremepuich.[19]

Las regiones visualizadas son *locus* únicos e independientes situados sobre cromosomas diferentes. Para cada región, el ADN de un individuo estará caracterizado por dos alelos que constituyen el genotipo.

Si los fragmentos son de diferentes tamaños, el individuo será heterocigota para el *locus*. Si los fragmentos son de igual tamaño, el individuo será homocigota. La combinación de los genotipos de un ADN para todos los *locus* estudiados representa la huella genética.

Se describieron varias decenas de regiones amplificables, que van de algunas decenas de nucleótidos (STR: *Short Tandem Repeat*), a varias centenas de nucleótidos (AMP-FLP: *Amplified Fragment Lenght Polymorphisms*). El sexo también se puede identificar con esta técnica (O. Pascal y Coll, 1991).

[19] Médicos peritos para las huellas genéticas, CHU Burdeos.

Copyrighted material

Hidden page

mente un "kit de muestra" que permitirá almacenar en buenas condiciones muestras de saliva recogidas de delincuentes condenados.

— *Contaminaciones.*[20] — Se trata de un escollo importante de la técnica: la reacción de amplificación no es específica del ADN matriz de la muestra precintada. Todo ADN matriz introducido involuntariamente (célula del manipulador, ADN procedente de amplificaciones anteriores) será amplificado de manera equivalente. Por tanto, las reacciones deben ser practicadas en *locales apropiados,* con *material específico* y por *técnicos habilitados* (decreto número 97-109 del 6 de febrero de 1997).

La identificación de un individuo mediante el estudio de la saliva, por ejemplo, depositada sobre una estampilla o un sobre, ahora es posible por la conjugación de las diferentes técnicas expuestas anteriormente. Por lo demás, son aplicables a otros casos particulares (saliva fresca, mancha, colillas, etcétera).

Sin embargo, hay que alertar al lector, porque, en algunos casos límites, la identificación no puede ser afirmada mediante el análisis genético. En la duda, es evidente que hay que abstenerse de realizar inferencias. No obstante, es posible proceder a una confirmación mediante un análisis atómico (espectrometría de masa con transformada de Fourier) de algunos componentes de la saliva cuya presencia y concentración en ocasiones varían de manera importante de un individuo a otro.

1.5.5. El test de paternidad

El test de paternidad también es denominado test de búsqueda de filiación. El patrimonio genético de un niño es transmitido por partes iguales y de manera hereditaria por sus padres. Por ello, dos alelos ca-

[20] Pronto, el riesgo de contaminación quedará notablemente disminuido gracias a la aparición de una nueva tecnología actualmente en estudio en la escuela de física y química de París. Los biochips reconocen las bases constitutivas del ADN de un individuo entre todos los habitantes del planeta. El objetivo de los científicos es concentrar en un solo aparato todas las etapas del análisis de ADN. El conjunto es totalmente automatizado, lo que disminuye el riesgo de contaminación y reduce el tiempo necesario para la obtención de los resultados. Al final del proceso, las moléculas de ADN son por así decirlo impresas en la superficie del chip. Las informaciones genéticas son leídas entonces por una computadora gracias a microrrayos láser. El interés de los biochips es llegar a la puesta a punto de un aparato de análisis portátil que podría estar presente en las comisarías o los vehículos de la policía científica.

Copyrighted material

racterizan el ADN del niño. En general, el test de paternidad se realiza con muestras sanguíneas de las tres personas involucradas (padre, madre, hijo). A partir de las muestras extraídas de la madre y el padre se identifica el alelo de origen materno (huella de la madre) y el de origen paterno (huella del padre). Estas dos huellas en forma de código de barras serán comparadas con la del hijo. El test será concluyente si la huella del niño coincide por mitades con la de su padre y su madre en cantidad y posición.

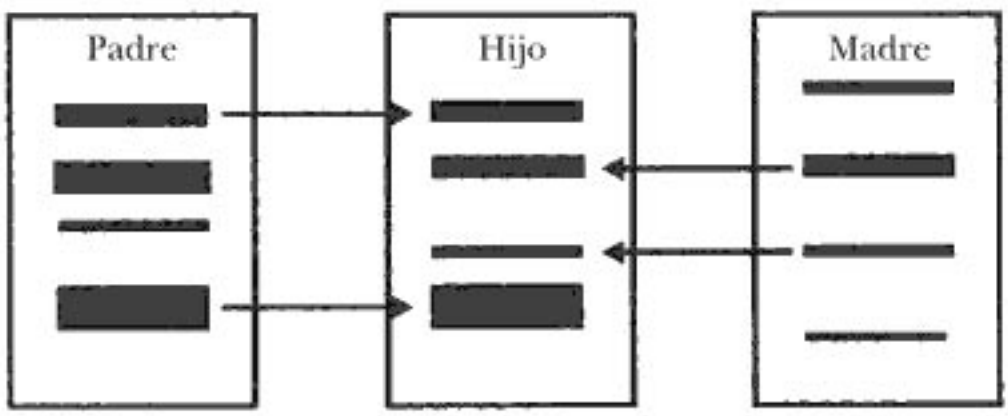


Figura 7.7. — Test genético de filiación.

El resultado es infinitamente más fiable que con los análisis de grupos sanguíneos, que permitían excluir a un padre potencial, pero no pronunciarse sobre un padre del mismo grupo sanguíneo que el niño, o sobre dos padres posibles de idéntico grupo. Los resultados se presentan en dos formas: el indicio de paternidad (PI) y la probabilidad de paternidad (W).

En el caso Yves Montand había por un lado una hija potencial, Aurore Drossard, y por el otro un muerto obligado a responderle cuando en vida se había negado a realizar el test de paternidad. Los análisis fueron formales: Montand no es el padre de Aurore. De igual modo, el misterio de los Romanov en gran parte fue aclarado, en 1993, gracias a un análisis genético hecho sobre osamentas de la familia imperial rusa, ejecutada en 1918.

1.5.6. El marco jurídico

Está constituido por dos leyes llamadas bioéticas, que enmarcan las condiciones de ejecución de la identificación de una persona por sus huellas genéticas, y por un decreto que organiza las modalidades de

Copyrighted material

Hidden page

más de 5 millones de perfiles. Francia está en retraso, cinco años a la zaga de Gran Bretaña, con la creación, en 1998, de un Fichero Nacional Automatizado de Huellas Genéticas (FNAEG), destinado a centralizar las tomas de rastros genéticos de las personas condenadas por crimen y delito sexual. También es posible comparar las huellas de sospechosos con los datos del fichero, pero no pueden ser conservadas.

En el caso del asesino del este parisino, únicamente un monótono trabajo de búsqueda finalmente permitió identificar a Guy Georges, gracias a un legajo de 1995, agresión en un parking, en el cual había sido sobreseído porque la comparación con la sangre tomada en dicho parking era negativa. Su huella genética había sido conservada, como ocurre con miles de otros casos, en uno de los once laboratorios autorizados. Fue al volver a examinar más de 2 000 legajos de agresiones sexuales como los investigadores recuperaron el rastro de la muestra de 1995.

Faltaba que el laboratorio, el del CHR de Nantes en este caso, comparara esa muestra con el ADN del homicida encontrado sobre las víctimas; el test resultó positivo. La informatización habría permitido que los policías salvaran dos vidas.

Cerca de tres años después de la votación de la ley que creó el fichero (FNAEG), acabamos de saber que las autoridades francesas decidieron importar la red informática del FBI (Federal Bureau of Investigation). En efecto, la policía federal aceptó suministrar gratuitamente a Francia su sistema de codificación CODIS (*Combined DNA Indis System*).

El fichero deberá estar en operación en el transcurso del año 2003. El sistema informático será administrado por la policía científica y técnica, mientras que la ejecución y la creación del lugar de almacenamiento estarán a cargo de la IRCGN (Gendarmería nacional).

Este nuevo fichero permitirá identificar a los autores de crímenes impunes. Estará alimentado por dos fuentes: en primer lugar, el fichero FNAEG correspondiente a las tomas efectuadas sobre individuos condenados definitivamente por crímenes o delitos de índole sexual; en segundo lugar, las huellas genéticas anónimas relevadas en ocasión de crímenes o delitos sexuales. El procesamiento por el programa de la policía técnica y científica de las huellas bajo rayos X y los legajos nominativos deberían permitir entrecruzamientos interesantes, sin duda alguna.

Copyrighted material

Hidden page

Hidden page

— *El análisis de la variación de amplitud* se traduce por un perfil vocal en un espacio-tiempo con ayuda de un osciloscopio especialmente adaptado. Se visualiza la representación gráfica del sonido en una pantalla catódica y es posible grabarlo; es el oscilograma.

— *El análisis de la señal de la palabra* mediante un analizador de espectro que, en frecuencia, cubre una banda muy amplia superior a la de los escáner de uso profesional. Para la obtención de un espectrograma, más corrientemente denominado sonograma, en un primer tiempo se graba el sonido en una cinta magnética, luego se pasa varias veces por el analizador; el registro en papel es función de la potencia de la señal recibida.

— *El análisis estadístico informatizado*[21] está basado en el principio de que cada emisión de voz es única; por consiguiente, es necesario proceder a una serie de audiciones para determinar estadísticamente las invariantes, vale decir, las características constantes y propias de cada voz. Las diferentes fases del procedimiento son las siguientes:

- el preprocesamiento de la señal sonora de la voz: reconocer los rasgos característicos de un segmento corto preseleccionado;
- análisis de los trazos: describir la estructura temporal de una emisión de voz;
- análisis estadístico de la señal vocal;
- preparación del sistema: para caracterizar una voz, es necesario combinar los resultados del análisis de cierta cantidad de emisiones vocales (alrededor de 10) y compararlas con una voz de referencia característica;
- control de confiabilidad: las emisiones que no fueron utilizadas en la fase precedente son presentadas al sistema para clasificación.

Con este sistema, la tasa de error sería del orden del 1% para peritajes de complejidad intermedia.

— *El procesamiento digital de la señal vocal*, que está codificada en un formato muy diferente de su forma inicial (el muestreo). Consiste en medir la amplitud de la señal en intervalos muy cercanos. Se establece una cifra para cada muestra de sonido en función de su amplitud. La digitalización simplifica la señal de origen, pero si las muestras[22]

[21] Sistema AUROS (*Automatic Recognition of Speaker*), del BKA.

[22] Un segundo de discurso puede ser representado por una secuencia de 10 000 muestras.

Copyrighted material

son suficientemente próximas, vale decir, si la frecuencia de muestreo es elevada, la oreja no lo advertirá.

En el futuro, esta técnica permitirá tener en cuenta distorsiones ligadas a la calidad del material de registro, o de la transmisión, si este registro se realiza a partir del teléfono. También permite distinguir al locutor de su imitador, mejorar la calidad de registro (minimizando un fondo sonoro, por filtrado), determinar, por el análisis de ese fondo sonoro, el sitio donde fue grabada la voz, y, de ser posible, el estado psicológico del locutor (el stress, por ejemplo). La identificación de la persona emisora consiste en comparar el mensaje vocal de un individuo con un conjunto de mensajes o características acústicas obtenidas de varias personas. Aquí se trata de tratar de reconocer o verificar la identidad del sujeto que habla por su huella vocal.

No obstante, hay que ser muy reservado acerca de la confiabilidad actual del registro audio de una comunicación telefónica, que no puede ser comparada con la de una huella digital o genética. En la actualidad, en Francia, no existe una rúbrica "audiometría" en las listas oficiales de los expertos judiciales. En caso de necesidad, los magistrados apelan a los especialistas que figuran en la rúbrica acústica-vibraciones de la corte de apelaciones de París o acústica-ruido ambiental de la lista nacional redactada por la oficina de la Corte de Casación.

2. LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VÍCTIMAS (*POST MORTEM*)

2.1. *El examen del cadáver*

Tomemos el caso de un obrero mortalmente herido en una construcción; se le cayó encima una losa de hormigón. Un forense viene a examinar el cadáver en el lugar, y su misión es confirmar que la defunción realmente tiene un origen accidental. Para ello, debe examinar si las diferentes lesiones son compatibles con las declaraciones de los testigos. Estas comprobaciones son muy importantes para la indemnización ulterior de la familia. El trabajo de un forense no es solamente dirigirse al lugar de un accidente sino también, como en este ejemplo, asistir o practicar la autopsia para determinar con precisión las causas de la muerte, para no correr el riesgo de ignorar una muerte sospechosa.

Copyrighted material

Tratándose de las verificaciones que se deben efectuar sobre un cadáver, recurrir a la termografía IR tendrá el objetivo de medir la temperatura del cuerpo y, de este modo, permitir la determinación del momento de la muerte.

La utilización de esta técnica en semejante materia presenta muchas ventajas.

En efecto, se trata de una determinación a distancia, excluyendo todo contacto que acarrearía perturbaciones locales de temperatura, de donde procede su valor real. Es más preciso que el procedimiento tradicional, que requiere el empleo de un termómetro.

Modo de medida dinámica (o sea, continua y que tiene en cuenta la evolución en el tiempo), la TIR opera en tiempo real y simultáneamente en varios puntos del cuerpo. Así, permite obtener un verdadero mapa dinámico de la temperatura del cadáver.

Además, los resultados obtenidos pueden ser descriptos de manera rápida, fiel y significativa con ayuda de una cámara fotográfica de pequeño formato, un aparato instantáneo o incluso una video. Estas informaciones serán muy útiles para el forense que practicará la autopsia.

El examen del cadáver es una de las investigaciones que depende exclusivamente, no de la criminalística, sino de la medicina legal. Como lo señalan D. Lecomte-Bonnet y G. F. Nicolas,[23] la autopsia médico-legal es un acto que sólo puede ser efectuado por un forense que tenga una práctica regular en autopsias. La recomendación R(99)3, relativa a la armonización de las reglas en materia de autopsia médico-legal, fue adoptada el 2 de febrero de 1999.

Por tanto, de manera muy modesta señalaremos a los lectores las investigaciones sistemáticas en el protocolo de la autopsia, descripto por los autores anteriormente citados en su guía práctica de tanatología.

— Examen externo visual y filiación antropométrica (altura, peso, sexo, raza, pigmentación de la piel, etcétera).
— Examen interno por disección y extracción de todos los órganos, inclusive el cerebro, que serán observados minuciosamente, pesados y, si corresponde, conservados en formol para un estudio posterior.

[23] D. Lecomte-Bonnet y G. F. Nicolas, *Guide pratique de thanatologie médico-légale à l'usage des professions judiciaires*, Éd. Le Léopard d'or, 1989.

Copyrighted material

— Exámenes complementarios especializados:
  - radiografía y tomografía X;
  - estudio anátomo-patológico con microscopio óptico;
    - histología (corte con micrótomo tras inclusión en parafina);
    - citología (frotis y coloración sobre lámina).
  - estudio toxicológico (búsqueda de venenos mortales y tóxicos diversos);
  - estudios tradicionales de policía técnica y científica (véase el capítulo 3).

Cuando la cara de la víctima no fue desfigurada, el reconocimiento por los parientes es sencillo. En cambio, a veces la identificación de un cadáver resulta muy difícil, por no decir imposible, cuando la putrefacción está en una fase muy avanzada o terminada (esqueleto). Las dificultades también pueden provenir de su estado, sea un cuerpo entero o fragmentos. Entonces el estudio del esqueleto puede dar información sobre la edad ósea, el sexo, la altura. También hay que prestar una atención particular a las marcas que pueden existir en el cuerpo (tatuajes, cicatrices, estigmas de degeneración en el nivel de los dedos de la mano o del pie, secuelas traumáticas, intervención quirúrgica, etcétera).

La identificación de las víctimas de catástrofes ocupa un lugar aparte, porque depende de muchos factores: índole del accidente, acceso al sitio, topografía del lugar, clima, etcétera, que obligan a los actores de la investigación a preparar técnicas de búsqueda e identificación adaptadas a cada caso. Interpol elaboró un formulario de identificación a la luz de la experiencia adquirida con un procesamiento informatizado de los innumerables datos, habida cuenta generalmente de la importante cantidad de víctimas: 259 para la catástrofe aérea de Lockerbie, Escocia (1988), 159 para el accidente del DC10 en Nigeria (1989), 223 para la caída del Boeing 767 en Tailandia (1991), etcétera.

Consecutivamente a una catástrofe aérea, es posible recurrir a la termografía infrarroja durante comprobaciones del suelo, con miras a:

- proceder, en una zona determinada, a la búsqueda y detección de los restos calientes del avión y los restos humanos todavía calientes;
- localizar los restos calientes del avión cuya temperatura elevada no se debería a sus condiciones de construcción y manejo ni a las circunstancias de su caída; por consiguiente, estaríamos en derecho

Copyrighted material

de suponer que la alta temperatura detectada se encuentra en relación con la catástrofe acaecida en vuelo, por ejemplo, como resultado de una explosión. Los restos así localizados podrán ser sometidos prioritariamente a un examen de laboratorio.

Por último, una comisión de especialistas elaboró un manual de identificación de las víctimas de catástrofes que describe los procedimientos y estructuras tipo que se deben aplicar. Precisamente en este contexto se creó la Unidad Central de Identificación de las Víctimas de Catástrofes (UCIVIC), compuesta por funcionarios de policía formados en esta especialización.

2.2. *El examen odontológico*

La odontología médico-legal nació con la catástrofe del incendio del Bazar de la Caridad en mayo de 1897 en París, que permitió la identificación de los cadáveres calcinados a partir de sus dentaduras.

Para el conjunto de los odonto-estomatologistas, el fundador de esta disciplina es indiscutiblemente el doctor Oscar Amoedo, autor de la primera tesis del mundo sobre este tema, que fue publicada en Masson en 1898 con el título: *El arte dental en medicina legal.*

Desde esa época, la odontología (indicios dentomaxilares) demostró sus aptitudes y, a mi manera de ver, es una de las técnicas que con mucha frecuencia da resultados que presentan una gran confiabilidad. En gran parte esto se debe a la naturaleza de los tejidos dentales, que constituyen un material privilegiado, el más mineralizado del organismo. Muy duro, es el que mejor resiste a las agresiones que destruyen los otros tejidos biológicos. Ofrece una buena resistencia al tiempo, la inmersión, la putrefacción y hasta la cremación.

Otro elemento interesante es que en el cuerpo humano, en oposición a los huesos en perpetua destrucción y reconstitución, los dientes se forman de una vez por todas, en la adolescencia (alrededor de los trece años). Esta fosilización, los cuidados y las prótesis, por tanto, son elementos discriminantes en la identificación humana.

El trabajo del odonto-estomatologista consistirá en comparar documentos *ante mortem* (radiografías o panorámicas dentales) con los elementos referentes a la dentición del sujeto *post mortem*; el estudio comparativo a menudo debe ser completado con exámenes científicos.

Copyrighted material

2.2.1. Estimación de la edad[24]

La estimación de la edad por el sistema dental puede efectuarse por diferentes métodos:

— *El método de Gustafson* (1947), que es siempre el más utilizado y confiable, toma en cuenta los seis factores siguientes:
- abrasión del esmalte (A);
- parodontosis por envejecimiento (P);
- aposición del cemento (C);
- aposición de la dentina secundaria (S);
- transparencia radicular (T);
- reabsorción radicular (R).

Cada parámetro se clasifica de 0 a 3 según su amplitud por un técnico entrenado. La suma de todos los coeficientes dará un valor global de índice que será referido sobre la recta de regresión lineal de Gustafson,[25] cuya ecuación da directamente la edad con una precisión de alrededor de cinco años.

— *El método Shiro-Ito*

Este método sólo toma en cuenta los constituyentes de la corona y retoma dos de los factores del método de Gustafson, grado de parodontosis (P) y transparencia (T) sin preparación previa, aplicando la fórmula:

$$\text{edad} = 0.18\ P + 0.42\ T + 25.5$$

La precisión es de aproximadamente 10% para un intervalo de edad comprendido entre 40 y 70 años. Este método no sirve para las franjas que no están comprendidas en este intervalo.

— *El método bioquímico*

Este método consiste en estudiar el ácido aspártico (ácido amión-1 succínico), que es un diácido aminado presente en el esmalte y la dentina. Como todos los ácidos aminados salvo el glicocola, desvía la

[24] A título informativo, existen diferentes métodos de determinación de la edad ósea (Suchez-Brooks, Iscan, Lovejov).

[25] El método de Gustafson se realiza a partir de cortes histológicos dentales delgados.

Copyrighted material

Hidden page

óptico con un aumento de 100 x en UV. El cromosoma Y se presenta en forma de una manchita blanca fluorescente. El porcentaje de núcleos que poseen esta mancha es del orden de 30 a 60 en el hombre, mientras que es inferior a 10 en la mujer.

— *Marcaje del ADN por PCR*

Una técnica reciente de sonda molecular permite marcar el ADN presente en el núcleo de las células y determinar el sexo.

Para ello, se fragmenta la estructura del ADN mediante una enzima de restricción, y se le adjunta un marcador específico del cromosoma sexual Y. Esta técnica puede efectuarse a partir de células de la pulpa dental pero también a partir de sangre seca que date de varios años.

2.3. *La determinación de la fecha de la muerte*

La muerte súbita real es una cesación imprevista de la vida por la detención de las funciones vitales. A partir de dicho instante, el cuerpo humano padece una serie de transformaciones fisicoquímicas, seguida de un proceso de deshidratación autolítica interna bajo la acción de enzimas y una flora bacteriana intensa que alteran los compuestos orgánicos (glúcidos, lípidos, prótidos), lo que constituye el fenómeno de putrefacción y luego de descomposición avanzada que conduce a la esqueletización.

2.3.1. Las primeras verificaciones

Existen diferentes signos extraídos del paro de la respiración, el metabolismo basal y el ciclo de Krebs.

— *Enfriamiento cadavérico*

Luego de la muerte, la temperatura baja progresivamente a razón de 1° C por hora hasta el equilibrio con la temperatura exterior, vale decir, entre 15 y 20° C. El enfriamiento comienza en la agonía si la muerte no es instantánea.

— *Rigidez cadavérica*

Comienza por la mandíbula inferior y luego desciende en 6 a 12 horas hasta los pies y desaparece en el mismo orden.

Copyrighted material

Algunas veces aparece inmediatamente después de la muerte (caso de envenenamiento por estrictnina, por ejemplo).

— *Lividez cadavérica e hipostasis*

Se trata de manchas violáceas que aparecen sobre el cadáver luego de algunas horas y que corresponden a la acumulación pasiva de la sangre en las regiones en declive bajo los efectos de la gravedad. La disposición de las lividece cadavéricas tiene una importancia capital en medicina legal, sobre todo porque permite verificar un cambio de posición, si el cuerpo fue o no desplazado, por ejemplo, en el caso de un homicidio maquillado como suicidio.

— *Signos oculares*

Cuando una persona fallece, el color de los ojos progresivamente va a desaparecer porque, con el correr de las horas que siguen a la muerte, se desarrolla un velo opaco que va a recubrir la córnea y que ya no permite ver su color. Este velo opaco se desarrolla generalmente en 6 horas, pero más rápidamente si la temperatura es elevada. También se observa un hundimiento y una fluidez del globo ocular.

— *Putrefacción cadavérica*

La putrefacción comienza al cabo de 2 a 3 días. Por lo general se inicia en el nivel del intestino ciego y se extiende más o menos rápidamente a todo el abdomen (formación de manchas verdes).

— *Estado de descomposición avanzada*

En periodos estivales, en el bosque, la descomposición puede efectuarse de 9 a 10 días (esqueletización). En una valija o un baúl de madera, la descomposición puede demorar varios meses, hasta varios años.

Según los signos precedentes y siendo media la temperatura, el tiempo transcurrido puede ser fijado de este modo:

- color de los ojos todavía visible: menos de 6 horas;
- cuerpo todavía caliente y laxo: menos de 24 horas;
- cuerpo a temperatura ambiente y todavía laxo: menos de 36 horas;
- cuerpo rígido, manchas rojas violetas en partes en declive: de 24 horas a 4 días;

Copyrighted material

- el cuerpo deja de estar rígido,[27] manchas precedentes más acentuadas y manchas verdes en el vientre: 3 a 4 días.

Las estimaciones anteriores presentan un margen de error más o menos importante en función de ciertos factores: clima, estaciones, condiciones metereológicas, lugar, etcétera, que pueden acelerar o disminuir, hasta detener la evolución cadavérica.

Tras un plazo de 48 a 72 horas resulta difícil, para un forense, dar una fecha precisa de la defunción. Cuando existen cadáveres descubiertos tardíamente, ése es el momento en que entran en escena los especialistas de la entomología criminal. El estudio de los insectos, que está ligado al fenómeno de la putrefacción, permite determinar con precisión la fecha de la muerte y a veces hasta informar a los investigadores sobre las circunstancias de la defunción.

2.3.2. Determinación entomológica

La putrefacción es un fenómeno complejo, consiste en una descomposición de los compuestos orgánicos que constituyen la materia viva bajo la influencia de las bacterias y mohos:[28]

- los glúcidos en ácido láctico y alcoholes;
- los lípidos en ácido acético;
- los prótidos en ácido graso de la serie butírica,[29] con desprendimiento de amoníaco.

a condición de que existan diversos factores necesarios para su desarrollo (humedad de la atmósfera, temperatura comprendida entre 15 y 30° C, pH, actividad del agua...)

[27] Luego de algunos días, la rigidez cadavérica desaparece progresivamente; el proceso de fermentación produce gases (metano, amoníaco, hidrógeno sulfuro) e hincha las vísceras, que de este modo se ablandan. Esto explica la flotación de los cadáveres sumergidos al cabo de algunos días.

[28] Gérmenes patógenos y saprófitos comunes: *escherichia coli, streptococcus liquefaciens, streptococcus caseolyticus, bacillus clostriduim, pseudomonas, leuconostoc...* Mohos y hongos: *aspergillus glaucus, aspergillus flavus, clasdosporium, penicillum olivaceum, mucor mucedo...*

[29] Los ácidos grasos de la serie butírica son los ácidos fórmico, acético, propiónico, butírico, caprílico, caprídico.

Copyrighted material

Hidden page

Hidden page

En el análisis entomológico, sólo nos interesan, en la clase de los insectos, las tres órdenes: dípteros, coleópteros y lepidópteros o mariposas, y, en la clase arácnidos, la orden de los acáridos y la de las arañas, que son consideradas como insectos oportunistas.

La primera subclase contiene la orden única de los tisanuros, insectos trituradores sin metamorfosis. La segunda subclase comprende ocho órdenes distribuidas como lo indica el siguiente cuadro.

Aparato bucal	*Metamorfosis*		*Orden*
Piezas bucales trituradoras	Metamorfosis incompletas	Cuatro alas blandas	Arquípteros
		Dos elitros y dos alas blandas	Ortópteros
	Metamorfosis completas	Cuatro alas blandas	Neurópteros
		Dos elitros y dos alas blandas	Coleópteros
Piezas bucales trituradoras-lamedoras	Metamorfosis completas	Cuatro alas blandas	Himenópteros
Piezas bucales chupadoras	Metamorfosis completas	Cuatro alas escamosas	Lepidópteros
Piezas bucales pinchadoras-chupadoras	Metamorfosis completas	Dos alas solamente	Dípteros
	Metamorfosis incompletas	Cuatro alas	Hemípteros

Cuadro 7.1. — Clasificación de los insectos, 2ª subclase.

La sucesión de las escuadras en ocho olas se desarrolla en tres periodos diferentes (véase el cuadro 7.2):

Copyrighted material

Períodos	*Escuadras*	*Órdenes*	*Algunos géneros o especies tipos*	*Aparición aproximada*	*Naturaleza de las fermentaciones*	*Olor*
Moscas pioneras	Primera	Dípteros	*Califora vicina - Califora vomitora - Muscina*	casi inmediata, máximo en 24 horas		
	Segunda	Dípteros	*Musca domestica - Sarcofaga Lucilia*	3 meses		
Actividad larval intensa con fermentación	Tercera	Coleópteros - Lepidópteros	*Dermestes lardarius - Aglossa*	3 a 6 meses	butírica	pútrido, nauseabundo, cadavérico y diacetileo
	Cuarta	Dípteros	*Piofila casei - Drosófila - Fannia*	5 a 7 meses	caseica	a quesos echados a perder, amoniacal
	Quinta	Dípteros - Coleópteros - Coleópteros	*Ofira - Necroforus - Hister*	4 a 8 meses	amoniacal	*sui generis* - amoniacal
Coloración de los cadáveres	Sexta	Acáridos	*Trioglifus - Cepofagus - Glicifagus*	6 a 12 meses		
	Séptima	Coleópteros - Lepidópteros - Lepidópteros	*Attagenus - Dermestes maculatus - Tinesia*	10 a 15 meses		
	Octava	Coleópteros	*Tenebrio - Ptimus*	1 a 3 años		

Cuadro 7.2. — Recapitulativo de las diferentes escuadras de los "trabajadores de la muerte".

— Las dos primeras escuadras: las moscas pioneras.
— Las tres siguientes, que son la sede de una actividad larval intensa con tres tipos de fermentaciones provocadas por microorganismos diferentes:
- el *bacilus amilobacter,* para la fermentación butírica;
- el lactobacilo, para la fermentación láctica;
- el *microcossus urae,* para la fermentación amoniacal.

Copyrighted material

— las tres últimas, que corresponden a una colonización de cadáveres resecos.

Aunque este método haya demostrado su valor, no obstante hay que ser prudentes en cuanto a la interpretación de los resultados para una datación precisa. En efecto, ésta depende de numerosos factores naturales que son totalmente inmanejables para los investigadores, y que pueden conducir a errores groseros; la prudencia se impone.

2.4. *Reconstrucción facial*

Reconstruir una cara sobre un cadáver convertido en el estado de vestigio esquelético es el último paso de la identificación, cuando fracasaron las otras técnicas para elucidar la investigación judicial.

Existen diferentes técnicas de reconstrucción facial:

- *Los métodos reconstructivos* puros, a partir de datos óseos y también tegumentarios.
- *Los métodos fotométricos*, por superposición o sobreimpresión de tomas fotográficas, radiológicas o de datos cefalométricos de una persona desaparecida.
- *Los métodos fotogramétricos*, que permiten medir la forma, dimensiones, posición en el espacio de las diferentes partes del esqueleto de la cara: se trata del relevamiento fotogramétrico.

El interés de los métodos reconstructivos es que son aplicables en todos los casos, mientras que los fotométricos requieren una presunción de identidad por la índole de las piezas de comparación. El relevamiento fotogramétrico, por último, permite la realización de una réplica de la cabeza, mediante la manipulación de las imágenes en perspectiva registradas fotográficamente. Es una técnica precisa pero "pesada".[35]

El método preconizado por los doctores M. Cretot y J. Pujol, llamado de reconstrucción de perfil blando deteriorado o desaparecido de un cadáver, maneja la morfología esquelética exocraneana y endocraneana, relevada sobre una telerradiografía sagital de un cráneo óseo.

Los puntos cefalométricos son destacados en función de su situación estratégica en el curso del crecimiento, y son discriminantes en la definición del esquema facial del individuo. Se toman muchas me-

[35] Cámara Planimat D2 Carl Zeiss.

Copyrighted material

Hidden page

Hidden page

3.1. *Autenticación a partir de la mano*

3.1.1. La huella digital

De lejos, es la técnica de biometría más corriente. En efecto, el primer sistema automático de autenticación por huellas digitales se remonta a los años 1960.

La huella del dedo es tomada por un captor óptico, la imagen se limpia con ayuda de un programa de procesamiento. Lo que se compara no es la totalidad del dibujo de las crestas papilares sino la disposición de cierta cantidad de minucias. Remitimos al capítulo 3, § 3.

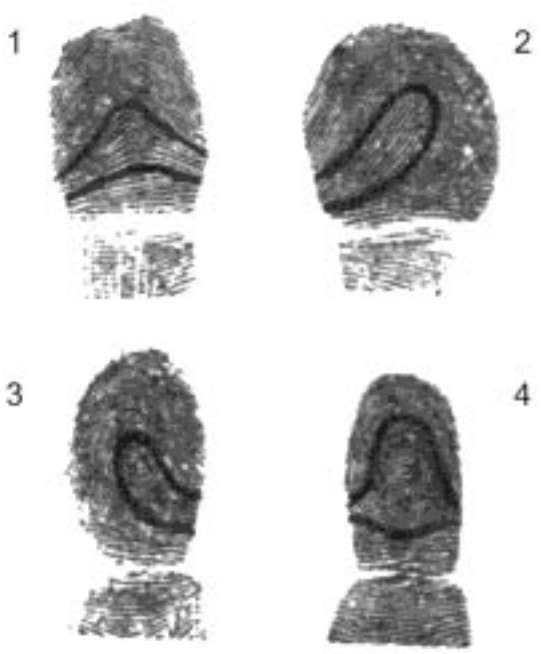


Figura 7.10. — Cuatro dibujos de crestas papilares
(1: arco; 2: presilla interna; 3: presilla externa; 4: verticilos).

También es posible tener en cuenta el relieve de la huella; sin embargo, para desbaratar los fraudes (huella entintada), algunos fabricantes utilizan captores térmicos que ponen de manifiesto la vascularización sanguínea.

3.1.2. La huella palmar

El reconocimiento palmar toma en cuenta los dibujos dermoepidérmicos de la mano pero sobre todo la disposición y el trayecto de las líneas de la mano (véase el capítulo 3, § 5.3.5).

Copyrighted material

Figura 7.11. — A la izquierda, las huellas palmares de una mujer normal; a la derecha, las de un varón aquejado de una anomalía cromosómica.

3.1.3. Mensuraciones de la mano

La técnica se basa en la geometría. Procede a realizar diferentes medidas que son propias de cada individuo.

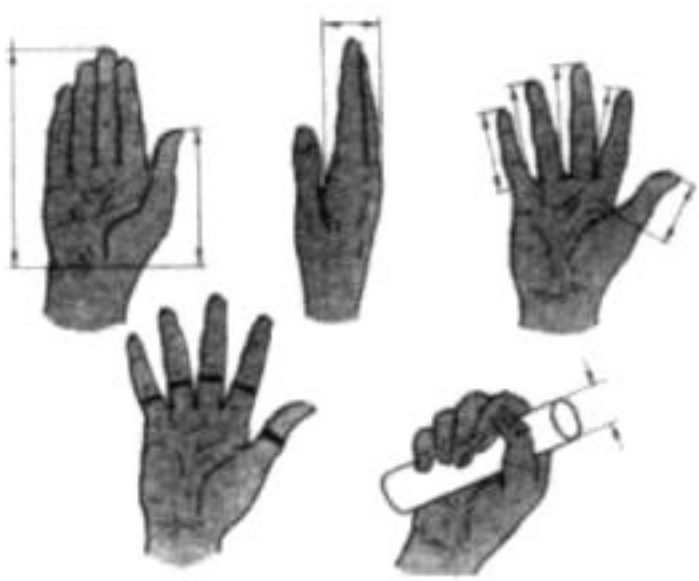


Figura 7.12. — Las medidas de la mano.

Copyrighted material

3.1.4. Iconografía térmica de matriz híbrida

Es posible resaltar en infrarrojo una cartografía térmica que torne visibles los vasos subyacentes y permita evaluar su caudal.

Figura 7.13. — Imagen térmica obtenida por una cámara de detector matricial.

3.1.5. Reproducción digital de la mano

Actualmente, en el aeropuerto J. F. Kennedy de Nueva York se halla en estudio un nuevo procedimiento de control de acceso[36] para los servicios de inmigración, sobre 20 000 usuarios de una tarjeta magnética que lleva en su memoria la topología de la palma de la mano del titular. Basta con introducir su tarjeta en un lector en el puesto de la aduana y apoyar la mano en una ventana de identificación. Un escáner captura una imagen por digitalización de la palma y la compara con la que está contenida en el chip de la tarjeta y la base de datos de la computadora central. La operación, cuya finalidad es estar autorizado a penetrar en territorio norteamericano, lleva diez segundos.

3.2. *Autenticación a partir del rostro*

3.2.1. La geometría general

Las características que se consideran significativas para el reconocimiento del rostro son: la distancia entre los dos ojos, la separación de

[36] Procedimiento INSPASS.

Copyrighted material

las fosas nasales, el ancho de la boca, el contorno del rostro. Vista de frente, la nariz no presenta particularidades discriminantes. La computadora opera correlaciones a partir de una decena de tomas. El margen de error es del orden del 1%. Sin embargo, el rostro es una biometría relativamente poco segura. En efecto, la imagen puede estar sujeta a variaciones importantes (maquillaje, pilosidad, presencia o ausencia de anteojos, envejecimiento, expresión de una emoción...). Y es incapaz de diferenciar a dos gemelos.

El fisionomista Georges Davis acaba de poner a punto, con una empresa *high-tech* de Washington, un programa de identificación facial (identificación y comparación). La computadora, a partir de una sola imagen más o menos clara tomada por una video Sony, la compara con las contenidas en la base de datos y establece en algunos segundos una lista de personas parecidas. A partir del rostro, el programa busca elementos morfológicos que permanezcan idénticos pese a la diversidad de las expresiones (forma de los pómulos y la mandíbula; hasta puede reconocer a personas que se ocultan detrás de bigotes y anteojos de sol).

3.2.2. Estereoscopia e imagen 3D

La estereoscopia comprende todos los métodos que permiten obtener una impresión de relieve, ya sea observando un rostro a través de un instrumento óptico o restituyendo una sola imagen en relieve a partir de dos fotografías. En la práctica, se trata de efectuar un examen geométrico en tres dimensiones, pero dirigidas a la parte superior del rostro para suprimir deformaciones engendradas a nivel de las mejillas que se originen en una suba de peso o un dolor de muelas.

La fotografía digital en 3D (véase el capítulo 4, § 2.3) ofrece una calidad de imagen excepcional que presagia un importante desarrollo en el futuro.

El conjunto comprende una cámara digital Minolta, tipo 3D 1500 (1.5 millones de pixeles) y un programa Metalflash.

El modo operativo es el siguiente:

Copyrighted material

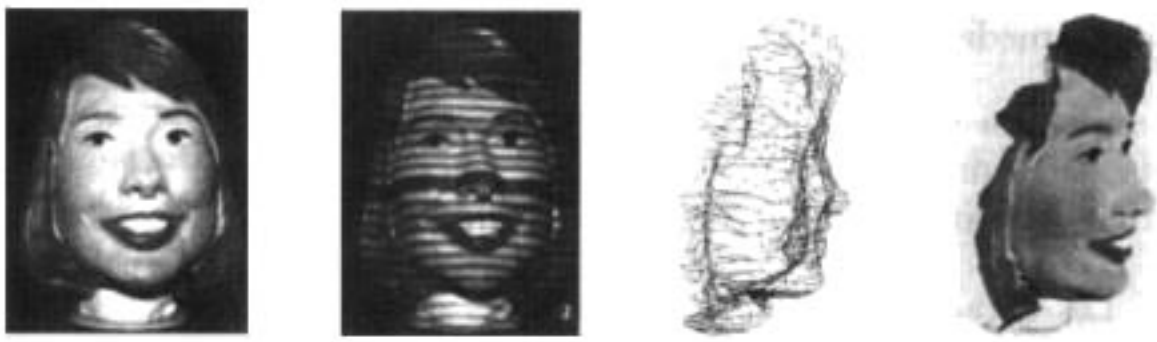


Figura 7.14. — Las 4 fases de la fotografía digital en 3D.

Se realiza una primera toma con flash (1) con un leve desfase temporal, un segundo flash proyecta bandas de color (2). En función del ángulo de cada banda, el programa calcula la distancia de las partes del rostro, permitiendo formar el entramado fotogramétrico. Se superpone el entramado sobre la primera toma para realizar la foto en 3D.

3.2.3. Reproducción térmica por barrido

La termografía infrarroja puede aplicarse a la autenticación del rostro. Es necesario utilizar una cámara con detector multielementos asociada a un barrido paralelo de 100 líneas para mejorar la resolución térmica. El modelo TVS 2000 de Nippon Avionics da un termograma de una gran calidad.

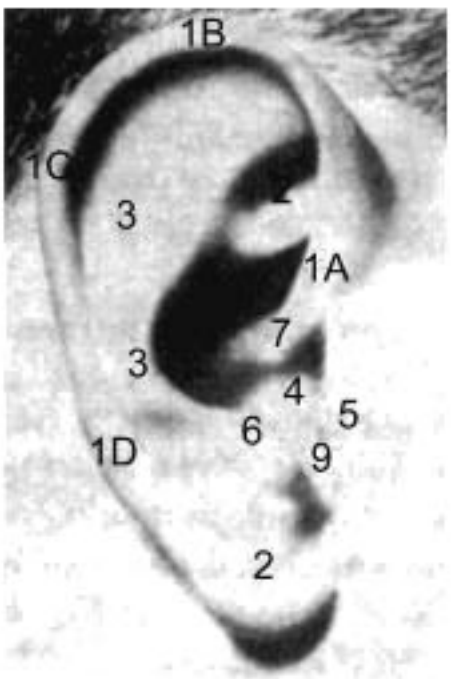
Figura 7.15. — Termograma IR (barreta de detector por barrido).

La precisión de este tipo de material encuentra una aplicación para el conjunto del cuerpo humano, particularmente en el campo médico.

Copyrighted material

3.3. *Autenticación a partir de la oreja*

Las características morfológicas y antropométricas de la oreja externa son propias de cada individuo. En efecto, la configuración de la oreja externa permanece constante durante toda la vida. De esto resulta que la oreja de cada individuo posee particularidades únicas. A. Iannarelli preconizó una clasificación a partir de la anatomía de la oreja externa.



1A Partida del cojín de la hélice
1B Borde superior de la hélice
1C Borde de la hélice
1D Fin de la hélice
2 Lóbulo
3 Antelis
4 Caracol
5 Trago
6 Antitrago
7 Escotadura del caracol
8 Fosa escafoide o navicular
9 *Incisura Intertragica*

Figura 7.16. — Pabellón de la oreja.

La autenticación a partir de la oreja permitió sorprender a numerosos asaltantes tomados en flagrante delito por las cámaras de vigilancia de las agencias bancarias, entre otras.

3.4. *Autenticación a partir del ojo*

En el plano óptico, el ojo funciona de manera idéntica al de una cámara fotográfica. El iris es su diafragma; los medios transparentes, entre ellos el cristalino, su objetivo, y la retina la placa sensible (película).

Copyrighted material

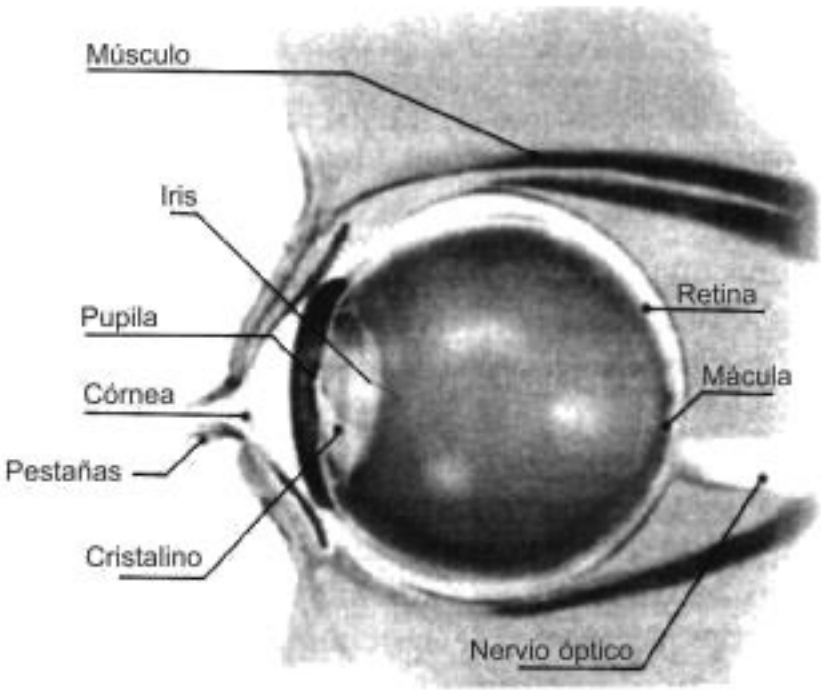


Figura 7.17. — La estructura del ojo.

Los elementos del globo ocular que presentan un interés en biometría son el iris y la retina.

— *El iris*

Es sabido que la textura, color y apariencia general del iris están determinados genéticamente, y por lo tanto son propios de cada individuo y en ocasiones de cada ojo de una misma persona. La textura del iris es estable, y una modificación tiene una repercusión inmediata sobre las capacidades visuales. Una técnica de descripción de esta textura basada en filtros de Gabor fue desarrollada comercialmente (procedimiento IRISCAN).

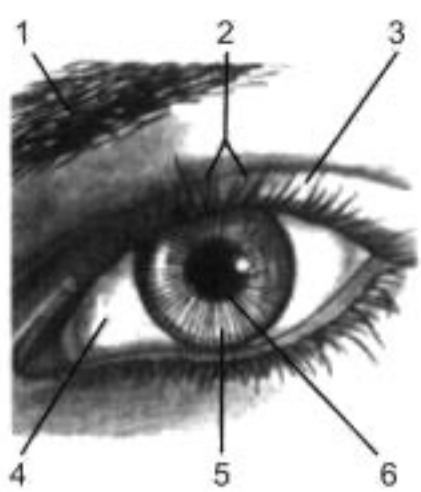


Figura 7.18. — Ojo (visto de frente). 1: cejas; 2: pestañas; 3: párpado superior; 4: esclerótica (blanco del ojo); 5: iris; 6: pupila.

Copyrighted material

El proceso es sencillo: la persona que quiere ser identificada debe mirar fijamente el objetivo de una cámara, que inmediatamente recupera el dibujo del iris. La dificultad consiste en ubicar el ojo en una posición perfectamente alineada con el eje del sistema óptico de la cámara, cosa que no es tan fácil como parece. La duración de la operación es de aproximadamente dos segundos, con una tasa de error teórico de 1 sobre 10 000. La utilización de esta técnica es encarada en los distribuidores de billetes (DAB) y para el acceso seguro a Internet. Atención, el sistema puede ser engañado. Basta con realizar, a partir de una simple fotografía, una lente de contacto que reproduzca el iris de una persona habilitada.

— *La retina*

Los conos y bastoncillos son las células de la retina encargadas de captar la luz de manera muy selectiva. Los primeros garantizan la visión central (la que se utiliza para leer) y permiten ver en colores durante la jornada. A los segundos les debemos la visión lateral o periférica y la posibilidad de ubicarse en el gris nocturno. Por otra parte, la capa sensorial que permite la visión es recorrida por vasos sanguíneos que emergen en el nivel de la pupila óptica, donde se distingue una red de venas y arterias que se subdividen en venillas y arteriolas de un diámetro menor. Este conjunto de vascularización es visible al oftalmoscopio (fondo de ojo).

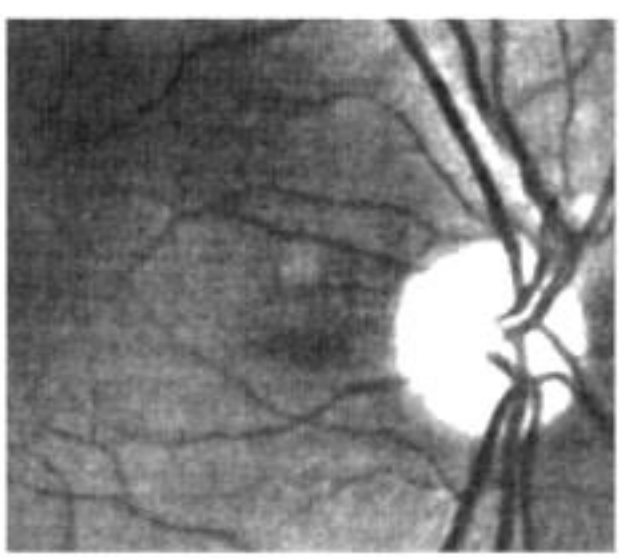


Figura 7.19. — Fondo de ojo normal.

Copyrighted material

La identificación de un individuo por su imagen retiniana fue propuesta en 1935 por Simon y Goldstein. Aunque el aspecto de los vasos pueda ser modificada por la edad y la enfermedad, su posición respectiva permanece inalterable hasta la muerte. Los trabajos de Tower (1955) mostraron una diferencia en los dibujos de la vascularización retiniana entre los gemelos homocigotas o univitelinos. La ejecución de esta técnica requiere una cámara especial con enfoque binocular, que efectúa un barrido sobre una parte de la retina (fondo de ojo) mientras el sujeto fija una imagen en el visor. Luego basta comparar la imagen con las contenidas en la base de datos. Este sistema es uno de los más confiables, según un estudio realizado por el Oregon Museum of Sciences (1984). Al tomar 90 puntos de comparación para los dos ojos, solamente dejaría pasar 222 errores sobre una población de 6 mil millones de individuos.

3.5. *Autenticación a partir del corazón*

Esta técnica sólo está en la fase experimental. Se trata de transformar un electrocardiograma en un sistema de bioseguridad.

La contracción cardíaca es automática, pero su ritmo y amplitud pueden ser modificados por la intervención del sistema neurovegetativo, sometido al control del hipotálamo.

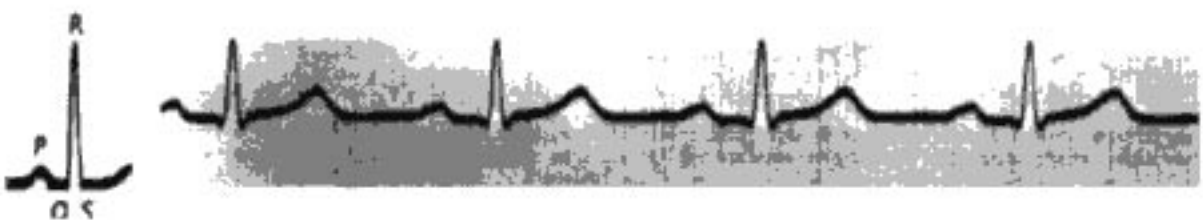


Figura 7.20. — El electrocardiograma normal está compuesto por tres ondas (P: sístole de la aurícula; QRS: complejo ventricular; T: onda de repolarización).

El trazado electrocardiográfico presenta un primer pico pequeño en forma de leve saliencia que corresponde a la sístole de la aurícu-

Copyrighted material

la, luego viene un grupo QRST, complejo ventricular que comienza tras un intervalo PQ de 12 a 15/100 de segundo. El primer elemento Q es una leve depresión seguida de un levantamiento R (pico muy pronunciado y alto [1 a 1.5 cm]). Un último pico, la onda T, corresponde a la sístole ventricular. El perfil del electrocardiograma varía normalmente según la derivación, la edad, los individuos, la posición del corazón. De la rapidez, la regularidad o no del ritmo, de la longitud del intervalo PR, las características de P, de QRS, el especialista podrá extraer informaciones interesantes sobre la naturaleza de las arritmias, la preponderancia de un ventrículo sobre el otro o la alteración del funcionamiento del miocardio.

3.6. *Autenticación por los dientes*

Remitimos al capítulo 3, § 5.3.4. Panorámica dental.

La utilización de la panorámica dental permite una autenticación imbatible, lo que incita a su utilización para la protección de sitios ultrasensibles.

El inconveniente mayor es una exposición a los rayos X blandos frente a cada solicitud de autorización de entrada.

3.7. *Autenticación por el olor corporal*

La firma británica Mastiff Electronics y algunos bioquímicos de la Universidad Leeds pusieron a punto una nariz electrónica (centinela) capaz de localizar una presencia humana por el olor. Para autenticar a un individuo, le bastará con colocar su mano ante una batería de captores que analizará las moléculas de los diferentes componentes odoríferos desprendidos por la piel. El problema es más difícil de lo que parece porque los olores biológicos pueden tener orígenes múltiples: transpiración, alimentación, hormonas, fermentación, tabaco, flatulencias, etcétera.

3.8. *Autenticación por la voz*

La producción del habla es un fenómeno complejo (véase el capítulo 7, § 1.6).

Copyrighted material

Como ya lo señalamos en el capítulo del análisis audiométrico,[37] existen diferentes aproximaciones de reconocimiento vocal.

En el caso de la conversación telefónica, se distinguen sistemas de texto predeterminado (*text dependant*), donde el usuario debe repetir un texto que no elige, y otros donde la persona puede hablar libremente (*text independant*).

La frase de aprendizaje utiliza varios modelos de locución para tener en cuenta la variabilidad de su discurso. La frase de reconocimiento consiste en segmentar la palabra en unidades de bases (palabras o, mejor aun, fonemas). El resultado está sujeto a la calidad de la segmentación, que se halla en relación directa con la calidad de la señal. No obstante, no hay que descuidar la variabilidad de la voz del locutor, que puede depender de su estado fisiológico —afección de las vías aéreas superiores— y emocional —estrés, edad...—, pero también de las condiciones técnicas de la toma —ruido de fondo, eco, fritura...— así como de la calidad del equipamiento.

3.9. *Autenticaciones multimodales*

Para aumentar el desempeño de los sistemas de autenticación, algunos autores preconizan asociar varias biometrías para lograr un mejor resultado; es lo que se llama los métodos multimodales. Un ejemplo de esto es el que utiliza el rostro, la voz y el movimiento de los labios todo junto.

El inconveniente de estos métodos es que prolongan el tiempo de respuesta, lo que puede constituir una verdadera desventaja para determinadas aplicaciones militares o *high-tech*.

3.10. *Autenticación comportamental*

Actualmente, sin la menor duda, el reconocimiento dinámico de la firma manuscrita es el sistema de identificación más avanzado. En cuanto a los sistemas de reconocimiento estático o semiautomático de firmas, en la actualidad siguen planteando numerosos problemas

[37] A mi juicio, el análisis audiométrico debe ser distinguido de los programas de manipulación vocal del comercio, tanto por su concepción como por su utilización.

Copyrighted material

técnicos o científicos para el borrado de la porción llamada "trazo de unión", lo que permite aislar la letra (véase el capítulo 3, § 4.13).

— *Reconocimiento dinámico*

El sistema de reconocimiento dinámico consiste en hacer escribir al signatario con una estilográfica especial sobre un soporte metálico ubicado en un campo magnético. Los movimientos de la lapicera son grabados por una cabeza de lectura. Los datos son memorizados y comparados con los de la firma de referencia inscrita en una tarjeta magnética personal. La computadora rechaza todo desvío superior a un límite fijado de antemano, por ejemplo 1%, y sólo indica su resultado a quien presentó la tarjeta, preservándose de este modo la índole confidencial de la operación.

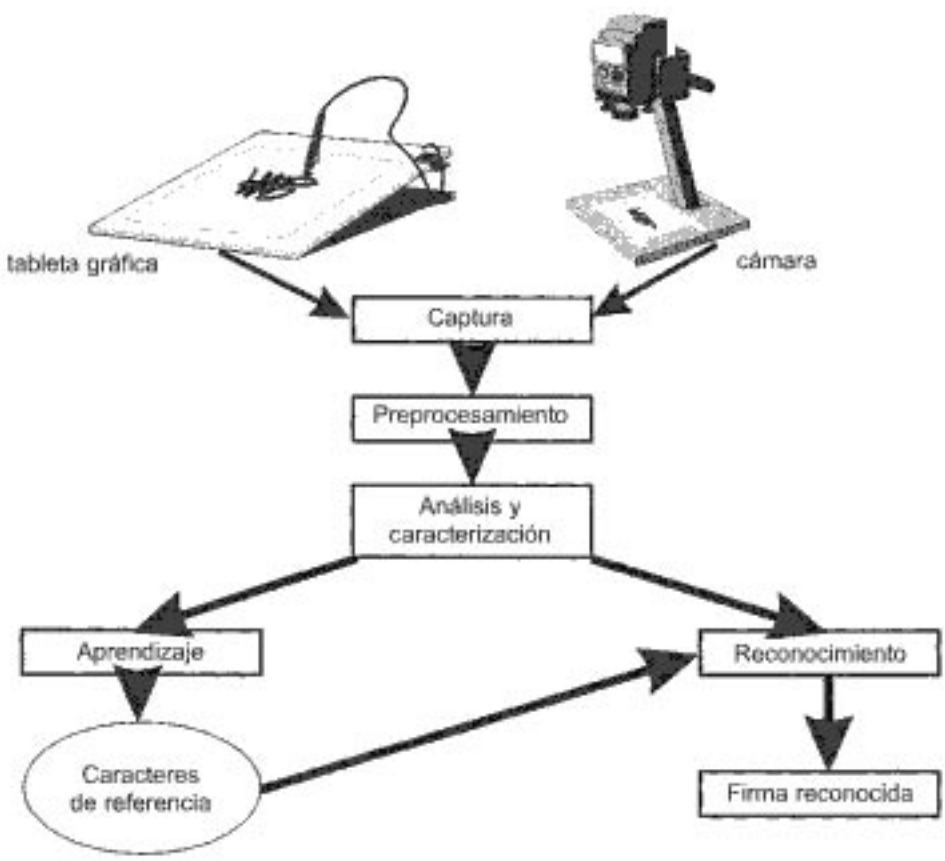


Figura 7.21. — Organización general de los sistemas de reconocimiento automático de firmas.

Otro interés del método es recordar la distinción que hacen los expertos entre los trazos (fluidez, presión) y el trazado (movimiento y dibujo de las letras). Si bien se puede imitar el trazado a fuerza de

Copyrighted material

Hidden page

Hidden page

8. LOS MÉTODOS BIOLÓGICOS Y LOS ANÁLISIS TOXICOLÓGICOS

Ya se trate de exámenes biológicos o de búsqueda de las causas tóxicas de un envenenamiento de origen criminal, las condiciones de toma y conservación de las muestras son de una importancia primordial para obtener resultados no impugnables.

Las principales tomas biológicas toxicológicas o autópsicas están recapituladas en el siguiente cuadro.

Líquidos biológicos		*Fáneros y elementos pilosos*	*Vísceras*
Sangre	Líquido - Mancha	Cabellos	Pulmones
Secreción espermática	Líquido - Mancha	Pestañas	Corazón
Secreción vaginal	Líquido - Mancha	Cejas	Riñones
Saliva	Líquido - Mancha	Pelos de barba	Bazo
Sudor	Líquido - Mancha	Pelos del cuerpo	Hígado
Orina	Líquido - Mancha	Pelos del pubis	Estómago
Contenido gástrico	Líquido	Uñas	Intestinos
Humor vítreo	Gel	Diente (esmalte, dentina)	Tejidos fetales

Cuadro 8.1. - Los diversos tipos de tomas.

Cualquiera que sea la naturaleza de las tomas, deben ser objeto de un protocolo particular que incluya: el etiquetado, las condiciones de conservación y, eventualmente, la destrucción.

— *El etiquetado*

Cada toma debe incluir una etiqueta autoadhesiva que pueda resistir las condiciones de conservación: humedad, bajas temperaturas,

Copyrighted material

etcétera. La etiqueta debe incluir los criterios de identificación precisos y descriptos en el decreto del 2 de noviembre de 1994 referente a la buena ejecución de los análisis de biología médica: patronímico, nombre, apellido de casada, fecha de nacimiento, sexo, fecha y hora de la toma.

Para las tomas efectuadas en el curso de una autopsia, también deben mencionarse el nombre del forense y el lugar.

— *Las condiciones de conservación*

Los líquidos biológicos, los órganos y las vísceras deben ser conservados a una temperatura de 4° C en cámara refrigerante.

En ocasiones es necesario efectuar una congelación a -40° C para aumentar el tiempo de conservación. Los fáneros, particularmente los pelos diversos y el cabello, se mantienen a temperatura ambiente.

La sangre líquida (sangre cardíaca o sangre periférica) debe ser depositada en frascos especiales previamente tratados con EDTA[1] como anticoagulante.

Ningún texto prevé el tiempo de conservación de las tomas, con excepción de los frascos para alcoholemia, que está fijado por decreto en nueve meses, para permitir un contraperitaje eventual.

En principio, la destrucción de las tomas sólo puede efectuarse luego del acuerdo de las autoridades judiciales, tanto para las muestras tomadas durante la autopsia (*post mortem*) así como en personas vivas (*ante mortem*).

Luego de la autorización, la destrucción sólo puede hacerse respetando las reglas relativas a la disposición de los desechos con riesgo infeccioso del ministerio de Salud.

1. LOS MÉTODOS BIOLÓGICOS

Entre los métodos biológicos, citaremos:

[1] EDTA: Ácido etilene-diamina tetracético (complejón); es uno de los productos de conservación de la sangre.

Copyrighted material

1.1. *La citología*

La citología nació cuando se instituyó la noción de célula, elemento fundamental de los organismos vivos, alrededor de 1840. En criminalística, su objetivo es observar las formas y estructuras celulares mediante el microscopio, lo que permite la identificación de las células. Las indicaciones suministradas por la citología son de variada índole.

Por fijación o coloración selectiva es posible obtener información cualitativa y en ocasiones cuantitativa sobre la composición de tal o cual estructura. Esta información a menudo es grosera, pero la citoquímica mitiga su falta de precisión bioquímica con una gran agudeza de localización. Gracias a colorantes o reactivos apropiados es posible no sólo conocer en forma aproximada la naturaleza de los compuestos celulares sino también la localización de actividades enzimáticas, el pH, la presión osmótica.

1.2. *La serología*

La serología determina el origen humano o animal de un resto o una mancha, al mismo tiempo que su grupo serológico (véase el capítulo 3, § 5.11).

En 1904, Karl Landsteiner introdujo la noción de *hapteno*: parte del antígeno que se une con el anticuerpo sin provocar una inmunización. Por un lado, demuestra que sustancias orgánicas que poseen una estructura química simple conducen a una producción de anticuerpos específicos, y, por el otro, que las hemoglobinas de diversos animales pueden ser diferenciadas por métodos químicos y serológicos.

Así es como la búsqueda de inmunoglobulina de origen humano puede ser puesta de manifiesto por el test de Coombs.

La presencia de inmunoglobulina en la saliva permite la manifestación del poder secretor. La reacción serológica es indirecta y se realiza en dos tiempos:

- poner en contacto la muestra con el reactivo antiinmunoglobulina humana en diferentes diluciones en suero fisiológico. Agitar fuertemente durante diez minutos, luego dejar reposar en el refrigerador 24 horas.

Copyrighted material

- centrifugar a 3 000 r/m durante cinco minutos e introducir glóbulos rojos sensibilizados de Coombs. Leer las aglutinaciones. En ausencia de saliva, y por tanto de poder secretor, no hay aglutinación (ya que el antisuero está bloqueado por la globulina humana).

1.3. *La enzimología*

La enzimología encuentra diversas aplicaciones en policía técnica y científica.

Partiendo del hecho de que la fijación de una enzima determinada sobre un soporte específico es perfectamente reproductible, la enzima inmovilizada es diferente de la inicial pero más estable que la que está en solución. Esta inmovilización puede ser puesta de manifiesto con reacciones coloreadas o microcristalográficas. Por lo demás, la presencia de una enzima en un medio a menudo permite caracterizarla. Así es como la α amilasa permite detectar la presencia de saliva, la fosfatasa ácida la de esperma, la peroxidasa la de sangre, etcétera, lo que constituye reacciones de orientación que a menudo resultan corroboradas por circunstancias de hecho.

1.4. *La microbiología*

La microbiología permite el estudio del mundo vivo microscópico: bacilos y gérmenes patógenos, saprófitos corrientes, parásitos del hombre, mohos, hongos, diatomeas, algas microscópicas, larvas de insectos, etcétera, cuya identificación puede ofrecer precisiones importantes a la investigación.

1.5. *La biología molecular (huellas genéticas)*

Para la metodología remitimos al capítulo 7, § 1.5.4.

Simplemente nos interesa señalar dos tipos de ADN: el ADN nuclear, que sólo existe en un ejemplar por célula, y el ADN mitocondrial,[2]

[2] La secuencia del ADN mitocondrial es la única técnica de biología molecular utilizable para elementos pilosos sin bulbo y muestras biológicas muy degradadas o en muy pequeña cantidad.

Copyrighted material

que está presente en varias centenas de ejemplares en la célula. El análisis del ADN mitocondrial será recomendado en el caso de muestras biológicas en cantidad muy limitada o muy degradadas. El ADN mitocondrial está presente en los cabellos y pelos sin bulbo, caso en que el ADN nuclear no es detectable. Este ADN presenta variaciones entre individuos, pero en un grado menor que el nuclear. Por último, las mitocondrias se heredan únicamente a través de la madre; por ello, los individuos de un mismo linaje materno poseen el mismo ADN mitocondrial, y como consecuencia no pueden ser distinguidos.

Hay que recordar que los análisis genéticos se remontan a poco más de diez años. Durante este periodo se asistió a un desarrollo científico considerable, tanto en el plano de los métodos de extracción cuanto en el de la evolución de los materiales utilizados, sobre todo la aparición de los "secuenciadores", que permiten leer la huella ADN y traducirla en código digital, verdadero código de barras.

En cuanto a la cantidad de solicitudes de análisis, debería estabilizarse tras la explosión de los años precedentes, debido al hecho de las nuevas técnicas que debían aplicarse en prioridad a las búsquedas de paternidad. En la actualidad, se percibe que los análisis sirven principalmente para sobreseer a los sospechosos en los procedimientos penales, si nos referimos a algunos casos que repercutieron en la prensa. En efecto, en el caso Grégory, el análisis de la media estampilla de una carta enviada por un anónimo al señor Albert Villemin y señora con fecha 27 de abril de 1983 (sello del correo) no fue concluyente. Los rastros de ADN demasiado viejos y mal conservados no eran interpretables. En el caso Omar Raddad, el ADN masculino presente en la puerta del cuarto de calderas de la piscina, habitación donde fue muerta la señora Marchal, no es imputable al jardinero. Sin embargo, nada puede demostrar que ese ADN pertenece al homicida, y por lo demás resulta imposible determinar si ese rastro fue dejado en la puerta antes, durante o después del crimen. Por último, en el caso Caroline Dickinson, es posible que, cinco años después del homicidio, el asesino haya sido encontrado en la Florida gracias a los rastros de ADN recogidos en el lugar del crimen.

Copyrighted material

2. LOS ANÁLISIS TOXICOLÓGICOS

Los analisis toxicólogicos consisten en buscar rastros de venenos mortales, tóxicos diversos de productos estupefacientes responsables de la intoxicación criminal presunta de una víctima. Desde hace algunos años, ciertos laboratorios de toxicología están autorizados para el rastreo de sustancias dopantes utilizadas por deportistas de alto nivel.

2.1. *Los venenos y gases mortales*

Los venenos llamados mortales son aquellos cuya administración es capaz de interrumpir rápidamente las funciones vitales y conducir a la muerte. Aquí tenemos tres clásicos:

— *La estricnina*

La estricnina es uno de los alcaloides vegetales sacados de la nuez vómica con la brucina. Es un veneno muy violento que posee una acción rápida, provocando crisis que recuerdan las del tétano. De un gusto amargo, a veces su presencia es difícilmente detectable cuando se absorbe en forma de sales: arseniato, sulfato y nitrato de estricnina. Este producto es utilizado en muy pequeñas dosis por algunos deportistas que, por su efecto en el sistema nervioso central, provoca un alejamiento de la sensación de fatiga.

— *El arsénico*

El arsénico es un cuerpo simple que se encuentra en la naturaleza en estado natural o combinado con azufre (Realgar, oropimente).

En general es el anhídrido arsenioso (matarratas) el que se encuentra en el origen de los envenenamientos criminales. La dosis letal 50 es de 0.6 mg/kg de peso vivo. Inodoro y sin sabor, la acción tóxica es progresiva, comienza por trastornos gastrointestinales acompañados de vómitos coloreados, diarrea serosa, y por último sobreviene la muerte. El arsénico no es eliminado y se concentra en los fáneros (cabello).

Su detección analítica no plantea ningún problema, por vía química pero sobre todo por cromatografía gaseosa.

Copyrighted material

— *El cianuro*

El ácido cianhídrico puro es el tipo de veneno fulminante, ya sea inhalado por vía respiratoria o absorbido por vía digestiva, caso de los cianuros alcalinos: cianuro de sodio pero sobre todo cianuro de potasio (caso de las intoxicaciones criminales). Los cianuros tienen una acción rápida porque en el estómago se transforman en ácido cianhídrico en contacto con el ácido clorhídrico del jugo gástrico. La intoxicación por cianuro puede ser detectada inmediatamente después de la muerte por el olor a almendras amargas que desprende y la aparición de manchas rosadas sobre la piel. El diagnóstico puede ser confirmado mediante un análisis por espectrometría de masa. Por último, en el plano histológico, en el bazo persisten los rastros.

— *Los gases mortales*

Existen una gran cantidad de intoxicaciones por gases mortales. La más extendida es la intoxicación por óxido de carbono (CO) o intoxicación oxicarbónica. Generalmente es de origen accidental o voluntaria (tentativa de suicidio), pero también puede provenir de un acto criminal.

La intoxicación oxicarbónica se debe a la inhalación más o menos prolongada de monóxido de carbono (CO), gas inodoro cuya toxicidad radica en el hecho de que la hemoglobina (cromoproteína ferrosa) es capaz de fijar una molécula gramo de óxido de carbono por átomo de hierro, lo que representa una afinidad aproximadamente 230 veces superior a la del oxígeno. Se forma un compuesto estable, la carboxihemoglobina, que bloquea el transporte del oxígeno sanguíneo.

De una manera general, la gravedad de la intoxicación por gas o vapores nocivos es función de la concentración en el aire y la duración de inhalación, de la cual aquí damos algunos ejemplos:

Copyrighted material

Hidden page

5. las drogas:
   — drogas alucinógenas o perturbadoras (cannabis, sativa L, LSD25);
   — drogas sedantes (opio, morfina, heroína);
   — drogas estimulantes (cocaína, crak, khat);
   — los ecstasy (anfetaminas y derivados);
   — las drogas inhalables (éter, protóxido de nitrógeno, solventes orgánicos, poppers, etcétera).

Algunas técnicas sofisticadas permiten que el toxicólogo analice los especímenes realizados *ante mortem* y *post mortem*, sobre todo:

- El EMIT *(Enzyme Multiplied Immunoassay Technique)*. Esta técnica permite detectar la gran mayoría de las drogas y sustancias químicas presentes en una muestra sanguínea.
- La *cromatografía* sobre capa delgada de alta performance (CCMHP), que permite identificar el 90% de los venenos conocidos. Por otra parte, este método separa e identifica los diferentes constituyentes de una mezcla.
- La *espectrometría de masa*, que puede ser acoplada con un cromatógrafo de fase gaseosa. Las muestras sanguíneas son vaporizadas, cargadas eléctricamente y luego conducidas a través de un campo magnético. Las diferentes sustancias son desviadas por el imán de manera diferente según su masa, e identificadas por un espectro característico.

A partir de los resultados de los análisis toxicológicos, el médico forense puede determinar la causa de la muerte.

Por lo que respecta a las disposiciones reglamentarias referentes a la impregnación etílica, desde el 15 de septiembre de 1995 la ley francesa fija el techo legal de alcoholemia en 0.5 g/l de sangre, lo que corresponde a una tasa de 25 mg de alcohol por litro de aire expirado. El rastreo semicualitativo (alcotest) o cualitativo (etilómetro) se efectúa en el aire expirado. En cuanto a la dosificación analítica a partir de una muestra de sangre, se realiza por vía química (dosificación por oxidación) o fisicoquímica (cromatografía en fase gaseosa).

2.3. *Los productos dopantes*

En un plano general, se habla de conducta dopante cuando un individuo consume ciertos productos para enfrentar un obstáculo real o

Copyrighted material

Hidden page

Pese a los exitosos medios analíticos del Laboratorio Nacional de rastreo del doping, los aparatos más modernos son impotentes frente a las nuevas generaciones de moléculas dopantes, surgidas sobre todo del genio genético.

2.4. *La sumisión química*

Hace ya algunos años apareció el uso criminal de productos farmacéuticos psicoactivos. Entre ellos, se sospecha que determinadas benzodiacepinas e hipnóticos están implicados en algunos crímenes, según un estudio que data de julio de 1997, del profesor Largier, jefe del servicio de fármaco-vigilancia del hospital Fernand-Vidal.

Clase (o tipo de actividad)	*Principio activo*	*Marca ®*
Benzodiacepinas	Triazolam Fulnitrazepam Lorazepan Temazepán	Halcion Rohynol Temesta Normison[4]
Hipnóticos	Zolpidem Zoplicone	Stilnox Imovane

Cuadro 8.4. — Las principales especialidades farmacéuticas que pueden acarrear una sumisión medicamentosa

Las moléculas que figuran en el cuadro antes mencionado presentan propiedades que levantan las inhibiciones. Por ello, las víctimas pueden firmar cheques, comunicar su número confidencial de tarjeta bancaria o participar en actos sexuales pareciendo perfectamente complacientes a los ojos de eventuales testigos y, lo peor, sin conservar ningún recuerdo.

Estos productos son incorporados o en las bebidas (cafés, gaseosas, cervezas, alcoholes y espirituosos varios) o en alimentos (pastelería, golosinas...). En consecuencia, los nutrientes son absorbidos voluntariamente por la víctima, pero la ingesta de productos psicoactivos se hace en contra de su voluntad.

El modo de poner coto a esto sería añadir un colorante en los productos farmacéuticos enfocados, para volverlos detectables cuando se disuelven en una bebida cualquiera.

[4] En la actualidad, el Normison fue retirado de la venta.

Copyrighted material

Por otra parte, un problema análogo se plantea con ciertas anfetaminas y particularmente el GHB,[5] bautizada "la droga de los violadores".

El producto, que se presenta en forma de polvo o granulados, inodoro, insípido, e incoloro tras disolución, es un psicotrópico poderoso de efecto rápido que tiene la propiedad de hacer olvidar (amnesia) los actos cometidos.

En algunos países, la utilización de la sumisión química, vale decir, robar o violar a los individuos con su consentimiento aparente, se ha convertido en un verdadero flagelo social. En efecto, el GHB puede ser inyectado[6] por el fondo de las latas, de tal manera que éstas presentan su sistema de apertura fácil con el anillo intacto.

[5] GHB: Gamma hidroxibutirato de sodio.

[6] Con ayuda de una microjeringa del tipo Hamilton, utilizada en cromatografía gaseosa.

Copyrighted material

9. LOS MÉTODOS ARTIFICIALES QUE PUEDEN CONDUCIR A LA CONFESIÓN

Como la utilización de estas técnicas en la justicia está prohibida en Francia, pero sigue en vigor en muchos países, creemos que no es posible ignorarlas.

1. LOS EXÁMENES POLIGRÁFICOS

Esta técnica hace aparecer en escena un aparato, el "polígrafo", llamado espectacularmente "detector de mentiras", cuando en realidad se trata de un test de veracidad. El principio científico del polígrafo descansa en las reacciones psicosomáticas del individuo: en efecto, un cambio en los sentimientos conscientemente controlados provoca en el sujeto una reacción de defensa que acarrea modificaciones fisiológicas de diversos órdenes. Sin duda, mentir provoca un estrés. En su versión clásica, estos aparatos utilizan toda una serie de captores para registrar y evaluar la emotividad del sujeto.

Tres elementos se toman en cuenta:

- la respiración (ritmo y amplitud);
- el ritmo cardíaco (ritmo y amplitud);
- el reflejo llamado "galvánico" (reacciones nerviosas y musculares).

Para efectuar las medidas, la persona examinada debe llevar un "neumógrafo" (tubo de caucho) atado alrededor del pecho, electrodos en la extremidad de algunos dedos y un brazal de cardiógrafo. En el aparato, tres estiletes trazadores permiten registrar las reaciones del sujeto cuando éste responde las preguntas.

Existen otros detectores de concepción más reciente, que utilizan la voz según un principio de registro similar. El análisis de las microvariaciones de la señal sonora, la modificación de ciertas frecuencias o su disposición, supuestamente revelan que el locutor está mintiendo (véase al capítulo 7, § 1.6: análisis audiométrico).

Copyrighted material

Figura 9.1. — Polígrafo registrador PS323.

En los Estados Unidos, la utilización del detector de mentiras es frecuente, en particular para el reclutamiento en algunas administraciones sensibles (FBI, NSA, CIA), incluso durante procedimientos judiciales. En algunos países, los interrogatorios bajo detector son admitidos en las investigaciones criminales, en la India y el Japón bajo ciertas condiciones en este último caso. Sin embargo, el récord sigue siendo Estados Unidos, donde algunos casos se hicieron famosos. En 1983, el Pentágono (ministerio de Defensa) recurrió masivamente a él (21 000 exámenes) para tratar de limitar las fugas referentes a los programas clasificados "secreto-defensa". El aparato fue utilizado para tratar de probar la implicación del general Noriega en un tráfico internacional de droga e identificar al informador en el caso Watergate.

No es menos cierto por ello que la confiabilidad del polígrafo siempre es objeto de polémica. Hace algunos años, el ejército norteamericano afirmaba que obtenía puntajes concluyentes con un margen de error de alrededor del 4%. Pero un informe del departamento de Salud del Pentágono indica que la tasa de confiabilidad es de un fracaso sobre dos.

Copyrighted material

2. TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Como lo vimos anteriormente, el organismo humano, bajo los efectos de una emoción, padece modificaciones fisiológicas que son las manifestaciones de una actividad interna más intensa de lo que pueden ser registradas en un polígrafo.

Sobre todo, la emoción se traduce por una elevación de la temperatura que puede observarse en la superficie de algunos lugares del cuerpo humano. Se la puede observar fácilmente entre los niños cuando enrojecen de vergüenza. Entre los adultos no siempre es tan fácil de detectar.

Estos síntomas térmicos de la emoción pueden ser fácilmente percibidos a distancia (sin contacto), con ayuda de una cámara térmica.

La parte del cuerpo que se presta muy particularmente a este tipo de detección es la cabeza. En su superficie se encuentran varias zonas muy sensibles a los cambios, incluso mínimos, de temperatura causados por la emoción: las sienes, el pabellón de la oreja, las regiones oculares, el cuello (más particularmente la región carótida).

La termografía infrarroja puede ser utilizada por ejemplo en las personas sospechosas o que asisten a una requisa, o que están sometidas a una sesión de identificación, etcétera.

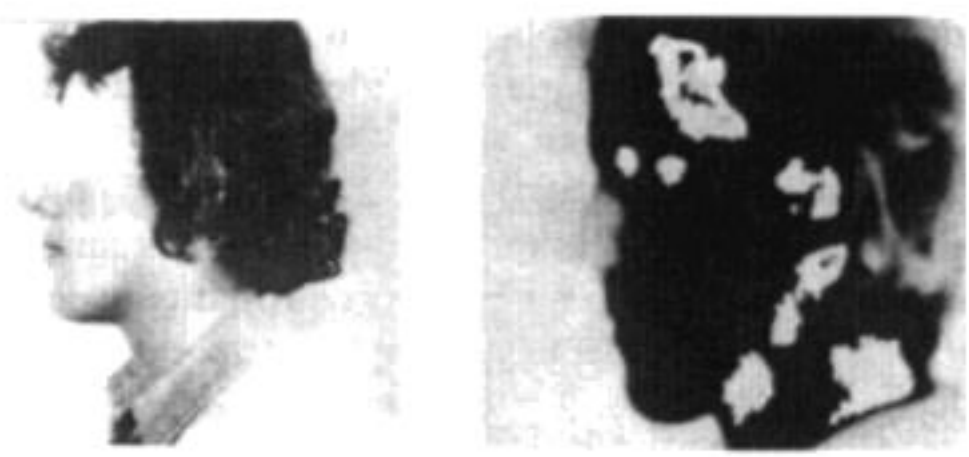


Figura 9.2. — Manifestación de síntomas emocionales mediante cámara térmica.

Copyrighted material

3. LA HIPNOSIS

La hipnosis corresponde a un estado de alteración de la conciencia. Durante mucho tiempo desprestigiada, la hipnosis poco a poco fue rehabilitada por la medicina. En efecto, se percibió que ofrecía una ayuda no desdeñable en el tratamiento de ciertas afecciones. Los estados hipnóticos sólo pueden ser provocados en algunas personas. Aproximadamente un 10% de los individuos son refractarios. ¿Por su culpa o la del hipnólogo? El caso es que los resistentes entablan una lucha inconsciente que dificulta todo trabajo hipnótico.

La hipnosis comienza por un tratamiento del sujeto para evaluar su receptividad. Existe todo un arsenal[1] de tests de sugestibilidad que permitirá al sujeto hacer su entrada en el sueño artificial. Todos los procedimientos para provocar el sueño hipnótico consisten en distraer la atención y conducir rápidamente a la fatiga muscular.

El cambio en la conciencia y la memoria trae aparejadas ideas y reacciones que no son acostumbradas al sujeto, siendo en parte sugeridas por el hipnotizador, cosa que, a todas luces, excluye esta práctica en cuestiones médico-judiciales.

La hipnosis puede comprender diferentes estados:

- El *estado letárgico,* en el cual el sujeto se halla en estado de muerte aparente, y la relajación muscular es completa.
- El *estado cataléptico,* en el cual el sujeto puede conservar una actitud durante un tiempo variable, o sea, conservar una inmovilidad casi absoluta.
- El *estado sonambúlico,* en el cual el individuo parece dormido; sin embargo, se le pueden hacer preguntas que él responde. En algunos casos, el sujeto presentaría incluso una lucidez particular que le permitiría esclarecer las investigaciones de una instrucción judicial.

Parece útil aclarar que la práctica de un interrogatorio bajo hipnosis sonambúlica está totalmente prohibido por la ley. En un caso reciente en que el número de la matrícula y el tipo de un vehículo habían sido obtenidos por un durmiente sonambúlico, sus confesiones no pudieron ser tomadas en cuenta, ya que la Corte de Casación visiblemente no apreció ese insólito testimonio por hipnotizador interpuesto.

[1] Tarjeta hipnótica, fijación de un punto brillante, repetición de palabras clave en frases de rutina, presión digital sobre los puntos histerógenos, etcétera.

Copyrighted material

Hidden page

CONCLUSIÓN

Habida cuenta de la importante evolución de la criminalística y de la policía técnica en estos últimos quince años, parecía necesario agrupar en una obra el estado actual de los conocimientos científicos en este campo, en el amanecer del tercer milenio.

Hemos desarrollado las diversas disciplinas que puede aportar la ciencia en busca de la prueba para la manifestación de la verdad.

Tratamos de ser tan exhaustivos como fuera posible, señalando las metodologías modernas que apelan a la informática y las técnicas de punta.

La nueva ley sobre la presunción de inocencia del 15 de junio de 2000, en vigor desde el 1º de enero de 2001, que prevé la desaparición de la confesión, va a reforzar en consecuencia la fuerza o el valor de la prueba material.

Ya sea en la fase de la instrucción o en la de la jurisdicción judicial, los magistrados van a encontrarse en la obligación de recurrir cada vez más al peritaje técnico, ya sea tradicional (balística, huellas digitales, grupos sanguíneos, manchas y rastros, documentos...) o sofisticado (transacciones bancarias electrónicas, informática, huellas genéticas, odontología y entomología legal). La cantidad de misiones judiciales, por lo tanto, va a aumentar, y la dificultad será encontrar los medios en hombres y materiales para tratar los casos en plazos razonables. La era de la investigación científica está en marcha.

Copyrighted material

Copyrighted material

GLOSARIO

ADN: ácido desoxirribonucleico. Molécula en forma de doble hélice, que es el soporte de toda la información genética y hereditaria. Está compuesta de cuatro bases nitrogenadas según un orden determinado, o sea: las letras A, C, T, G (por Adenina, Citosina, Timina y Guanina). El ADN es una constante de todos los organismos vivos.

ADN mitocondrial: otro ADN situado en las mitocondrias está presente en varias centenas de ejemplares en la célula.

ADN nuclear: el ADN que compone los cromosomas se encuentra en el núcleo de las células, comprende regiones variables de individuo a individuo pero sólo existe un único ejemplar por célula.

Alelos: formas funcionales bajo las cuales se presenta un mismo gen.

Algoritmo: proceso de cálculo que permite llegar a un resultado final determinado.

Antropología: estudio de las modificaciones anatómicas y biológicas del hombre, cualquiera que sea su pertenencia a una raza determinada.

Apócrifo: se dice de un texto o una firma, no auténtica, dudosa o sospechosa.

ARN: ácido ribonucleico. Esta larga molécula está formada por una sola cadena helicoidal, de estructura análoga a una de las dos cadenas que constityen el ADN. La base timidina del ADN es remplazada por la base uracilo, o sea, las letras A, U, G, C (por Adenina, Uracilo, Guanina y Citosina).

Bala: proyectil de plomo, encamisado o no, de latón, cobre o acero.

Bases nucleicas: moléculas (adenina, timina, guanina, citosina) que, asociadas a azúcares y fosfatos, constituyen el esqueleto del ADN.

Benzodiacepina: familia química de estructura bicíclica que posee propiedades sedativas, ansiolíticas, miorrelajantes e hipnóticas.

Biometría: método de identificación que se apoya en la consideración de elementos fisiológicos o comportamentales.

Calco seco: procedimiento que consiste en reproducir directamente sobre una hoja de papel un trazo o una firma que figura en un documento, siguiendo el grafismo original por transparencia.

Copyrighted material

Cariotipo: cantidad cromosómica que está constituida por 22 pares de cromosomas autónomos y un par de cromosomas sexuales, genosomas (*xy* en el hombre y *xx* en la mujer).

Cartucho: munición completa que comprende un estuche con un sistema de cebo, una carga de pólvora, uno o varios proyectiles (bala o plomos).

Catalepsia: estado en el cual el sujeto puede conservar una actitud durante un tiempo variable, o sea, conservar una inmovilidad casi absoluta.

Cola cianoacrilato: revelador de huellas digitales que produce un depósito blanco sobre las crestas papilares. La huella revelada se puede reforzar con un colorante fluorescente.

Copia figurada: término de diplomático aplicado a una copia en la cual se reprodujo el conjunto de las características del original.

Copia servil: imitación perfecta del modelo.

Cromatografía: técnica que permite la separación y el análisis de los diversos constituyentes de una mezcla.

Cromóforo: Se dice de un grupo funcional que da color al compuesto orgánico.

Cuerpo de escritura: texto escrito bajo dictado por los testigos o sospechosos para ser utilizado como elemento de comparación.

Dermatoglifo: dibujo formado por la piel, sobre todo en las extremidades de los dedos y la palma de la mano.

Diatomeas: algas unicelulares rodeadas de un cascarón de silicio bivalvo finamente ornamentado.

Dominante/recesivo: carácter genético que se manifiesta cuando está presente en uno solo de los dos cromosomas homólogos. Carácter genético que se manifiesta cuando está presente en los dos cromosomas homólogos.

Electroforesis: método de separación por polaridad, vale decir, desplazamiento de moléculas o partículas en solución cargadas eléctricamente bajo el efecto de un campo eléctrico.

E-mail: *electronic-mail* se traduce como "correo electrónico", por oposición al correo postal, que es llamado *snail-mail* (correo caracol). Es un sistema que permite intercambiar mensajes y ficheros informáticos a distancia (sonidos, imágenes, video, etcétera).

Ennegrecimiento: operación que consiste en cubrir una palabra o un grupo de palabras con un enduido o un líquido enmascarante para tornarlas ilegibles.

ESDA: Electro-Static Document Analyser. Aparato que permite poner

Copyrighted material

de manifiesto los trazos en surcos o las huellas digitales mediante un procedimiento electrostático.

Espectrometría: conjunto de las técnicas utilizadas para el estudio de los espectros.

Falsificación intelectual: la que se comete sin dejar huellas aparentes y no refleja el pensamiento del autor.

Falsificación material: la que se obtiene mediante operaciones fraudulentas de orden mecánico, físico o químico.

Fecha de la muerte: la determinación entomológica se apoya en una sucesión de escuadras de insectos (dípteros, coleópteros, lepidópteros, acáridos, arañas) y en la naturaleza de las fermentaciones que aparecen entre la tercera y quinta escuadra.

Firma digital: autenticación de un documento por aplicación de una huella digital.

Firma electrónica: es definida como el conjunto de los procedimientos que utilizan tecnologías electrónicas que permiten identificar de manera no ambigua a un firmante y autenticar los documentos que firmó, mediante algoritmos simétricos que son llamados algoritmos de clave privada.

Firma muda: firma de carácter informal de la que no se puede hacer una verdadera lectura.

Firma numérica:[*] una forma de la firma electrónica que utiliza algoritmos de encriptado con claves asimétricas, que de este modo son llamados algoritmos de clave pública.

Gen: porción de un cromosoma que gobierna la expresión de un carácter hereditario específico. Por intermedio de su código, los genes dan las instrucciones necesarias para fabricar las proteínas.

Genoma: el conjunto de genes que suministran las informaciones necesarias para la fabricación de todas las proteínas que pueden requerir nuestras células. El genoma humano está compuesto por 24 cromosomas y un poco más de 30 000 genes. El patrimonio genético (cantidad de genes) del *Tetraodon nigroviridis* es cercano al del hombre, porque ambas especies pertenecen a la rama de los vertebrados. Señalemos que, en el hombre, los genes están repartidos en 3 mil millones de nucleótidos, contra 400 millones en el *Tetraodon*.

[*] A todo lo largo de este trabajo hemos traducido el término francés *numérique* como "digital". Excepcionalmente, hacemos aquí una distinción debido a la posible anfibología entre la firma con aplicación de huella digital (el primer caso) y ésta. [T.]

Copyrighted material

Grafometría: estudio de la escritura por las mediciones.

Grafonomía: el análisis grafonómico es la técnica de aproximación racional del peritaje en escrituras; está basada en el estudio de los fenómenos gráficos considerados en sí mismos bajo su aspecto objetivo, independientemente de las escrituras donde se los observa.

Heterocigota/homocigota: que posee dos alelos diferentes de un mismo gen, que posee dos alelos idénticos.

Holográfico: método de registro de las imágenes que permite la restitución en relieve de un sujeto, utilizando las interferencias producidas por dos haces de luz coherente, uno que procede directamente de un láser, llamado haz de referencia u "onda" portadora, el otro proveniente del mismo láser pero reflejado por el objeto. Este método permite el procesamiento óptico de la imagen del objeto con fines de análisis, mejoramiento o comparación.

Huella genética: representa la combinación de los genotipos de un ADN para todos los locus estudiados.

Imitación fraudulenta total: término utilizado cuando el documento es totalmente fabricado a partir de un documento auténtico que sirvió de modelo.

Láser: Iniciales de *Light amplification by Simulated Emission of Radiation.* Se trata de una forma de luz coherente u onda electromagnética que posee las tres características siguientes:

— coherencia: todas las ondas están en fase, en el espacio y el tiempo a la vez;

— focalización: todas las ondas se desplazan en direcciones prácticamente paralelas;

— monocromaticidad: todas las ondas son de la misma longitud.

Luz negra: radiaciones ultravioletas emitidas por la lámpara de Wood.

Luz rasante: técnica de observación que consiste en ubicar el documento que se debe examinar bajo una muy débil incidencia (20° de arco) respecto de una fuente luminosa de débil intensidad situada ante una lente escalonada de Fresnel (iluminación llamada "tangencial"). La iluminación rasante destaca el surco gracias a la sombra producida por su depresión.

Medulla: parte central de ciertos órganos o fáneros.

Métodos radioisotópicos: métodos que utilizan radioelementos.

Microscopio mecánico de barrido: este aparato es más conocido con el término de "rugosímetro".

Microscopio óptico de barrido: microscopio óptico provisto de un disco giratorio perforado por aberturas.

Copyrighted material

Microscopio electrónico de barrido: este tipo de aparato da imágenes en corte por barrido de la superficie de una muestra. El aumento es tanto más elevado cuanto más pequeña es la superficie barrida.

Monocigota: se dice de los gemelos univitelinos que proceden del mismo óvulo.

Narcoanálisis: método de investigación que consiste en provocar en una persona un estado hipnagógico por inyección de Pentotal (suero de la verdad), práctica que ha sido abandonada en Francia por estar prohibida.

Ninidrina: revelador de huellas digitales que da una coloración rojo púrpura con los ácidos aminados presentes en el estado de trazas en el sudor.

Panorámica dental: radiografía panorámica (zonortopantomografía) de las mandíbulas de un individuo.

Polígrafo: aparato llamado espectacularmente "detector de mentiras", cuando en realidad se trata de un test de veracidad sobre la consideración de tres elementos (respiración, ritmo cardíaco, reflejo galvánico).

Sello húmedo: huella obtenida a partir de una superficie de caucho o material sintético enduido por una tinta grasa.

Sello seco: huella estampada o entintada obtenida mediante una matriz grabada.

Sonambulismo: estado en el cual el individuo parece dormido, mientras que se le pueden formular preguntas a las que da una respuesta. La práctica de un interrogatorio bajo hipnosis sonambúlica está prohibida por la ley.

Sonograma: registro gráfico que traduce en dos dimensiones las características sonoras de una voz mediante el reconocimiento vocal.

Spot-reacción: reacción de orientación por coloración (spot) o no mediante un reactivo (1 gota) que se pone en contacto directamente con la sustancia que se debe caracterizar.

Taco: cuerpo inerte (fieltro, papel, cartón o plástico) que mantiene en su lugar la carga de un cartucho de plomo.

Vaina o **estuche:** continente metálico, plástico o cartón en el cual se encuentran la carga, el cebo, el proyectil servido o los plomos.

Videógrafo: material de procesamiento de imágenes sobre casete audio o banda magnética.

Copyrighted material

Copyrighted material

BIBLIOGRAFÍA

Allen, E. E., "La recherche des enfants disparus grâce au vieillissement du visage par ordinateur", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 426, 1990.

Arul, F. V., "Les traces révélatrices", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 411, 1988.

Banerjee, P. K., "L'identification à partir des caractères visibles du crâne", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 435, 1992.

Beroud, G., *Faux en écritures par altération*, Lyon, Bosc y Riou, 1923.

—*Précis de criminologie et de police technique*, París, Payot, 1938.

Bertillon, A., *Une application pratique de l'anthropométrie*, Annales de démographie internationale, París, Masson, 1881.

Bischoff, M., *La police scientifique*, París, Payot, 1938.

Buquet, A., "Techniques nouvelles d'investigation pour la détermination d'altérations sur les documents graphiques", presentación ante el séptimo International Meeting of Forensic Sciences, Zurich, 8-12 de septiembre de 1975, *The Microform Journal of Legal Medicine*, 1976.

—"New technique for the detection of alterations in document", *Forensic Sci. Int.*, 10, 1977.

—"Méthodes pratiques d'identification des matériaux simples ou composites en feuilles et d'analyses de leurs constituants", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 357, 1982.

Buquet, A., Corbobesse P., Keranflec'h A., Ceccaldi P. F., "Comment lire les tracés en sillons (foulages) figurant sur des documents latents", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 372, 1982.

Buquet, A., "L'expertise scientifique des documents", *Cahier de l'expertise judiciaire*, 5, 1983.

—*Les tremblements dans l'écriture*, París, Impr. Pellerin, 1986.

Buquet, A., Rudler M., "Les écrits dans les intoxications exogènes", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 408, 1987.

Buquet, A., Manchon Ph., "Apport de la méthode statistique aux expertises en écritures", III^{e} Colloque européen de graphométrie et graphologie scientifique, París, Palais des Congrès, 26-27 de octubre de 1989.

Buquet, A., Corbobesse P., *Les problèmes posés par les photocopies en criminalistique*, París, Athènes reprographies, 1989.

Copyrighted material

Buquet, A., "Les documents sinistrés par l'eau, le feu, ou vieillis par le temps", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 423, 1990.
—"Les faux administratifs", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 436, 1992.
—"Faux documentaires et identification des écritures", presentación ante el Colloque de l'Association régionale des études de droit, Faculté de Droit, Troyes, 21 de noviembre de 1992.
—"Monétique et contrefaçon", presentación ante el Colloque international sur la contrefaçon, París, UNESCO, 16-17 de junio de 1992.
—"L'identification par les techniques photographiques et de traitement de l'image", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 437-438, 1992.
Buquet, A., Pascal O., "Identification d'un individu par la colle du timbre ou des enveloppes (empreintes génétiques)", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 444, 1993.
Buquet, A., "Principes, problèmes techniques et valeur juridique de la télécopie", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 441, 1993.
—"Les écrits à main guidée", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 450, 1994.
—"L'approche en bureatique pour identifier les sorties informatiques, 1re partie: Rappel des technologies d'impression, connexion et compatibilité imprimante-ordinateur", *Experts*, núm. 34, marzo de 1997.
—"L'approche en bureatique pour identifier les sorties informatiques, 2e partie: Polices et jeux de caractères: l'identification", *Experts*, núm. 35, junio de 1997.
—"Évaluation quantitative de l'appui de la main et de la pression digitale par palpage de la rugosité de surface en 2D", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 464, 1998.
—"Une aide à l'expert: photographie et imagerie numérique, 1re partie: les technologies nouvelles, la photographie sur ordinateur", *Experts*, Les Cahiers de l'expertise, núm. 44, septiembre de 1999.
—"La textologie: application en criminalistique", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 474-475, septiembre de 1999.
—"Une aide à l'expert: photographie et imagerie numérique, 2e partie: capture d'images par numérisation", *Experts*, núm. 45, diciembre de 1999.
—"Techniques de lecture des tracés en sillons", *Experts*, núm. 46, marzo de 2000.
—"La vérification automatisée des écritures et des signatures", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 483, 2000.
Carlson, K., "Utilisation d'un nouveau matériau de moulage en police scientifique", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 346, 1981.

Copyrighted material

Ceccaldi, P. F., *La criminalistique*, París, PUF, "Que sais-je?", 1962.
—"From crim to evidence", *Int. Police*, 3, 1974.
—"La recherche scientifique de la preuve en criminalistique", *Rev. int. police nationale*, núm. 117, 1982, y núm. 119, 1983.
Ceccaldi, P. F., Corbobesse, P., Buquet, A., Keranflec'h, A., "La protection des documents bancaires", *Rev. int. pol. crim.*, suplemento confidencial, núm. 406, 1987.
Chevet, G., Marand Ph., *Cours de criminalistique*, París, Préfecture de police, 1981.
Colectivo, revista *PTS* (policía técnica y científica), núm. 1 a 9.
Corbobesse, P., Buquet, A., Ceccaldi, P. F., "L'identification des copies électrostatiques est devenue une réalité", *Rev. int. pol. tech.*, 1, 1985.
Dérober, L., *Éléments de médecine légale*, París, Presse médicale et universitaire, 1977.
Diaz, Ch., *La police technique*, París, PUF, "Que sais-je?", 2000.
Durupt, B., *La police judiciaire, la scène du crime*, París, La Découverte/Gallimard, 2000.
Doutremepuich, C., *Les empreintes génétiques en pratique judiciaire*, París, La Documentation française, 1998.
Evett, I. N., "L'interprétation de la preuve", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 444, septiembre-octubre 1993.
Galton, F., *Fingers Prints*, Londres, Mac Millan, 1892.
García Ayala, J. A., "Un emploi du laser: la révélation d'empreintes lophoscopiques", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 377, 1984.
Garvie, M., "Sir Edward Henry: sa vie et son temps", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 480, noviembre de 2000.
Gaurenne, R., "La mort et les insectes. Témoins judiciaires", *Rev. Palais de la découverte*, vol. 24, núm. 231, 1995.
Gayet, H., *Manuel de police scientifique*, París, Payot, 1961.
Goddefroy, E., *Manuel de police technique*, Bruselas, Larcier, 1931.
Harper, D. R., "Révélation d'empreintes digitales au moyen d'une bactérie", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 408, 1984.
Hausner, Y., *Armes, munitions, explosifs*, París, Litec, 2000.
Hreblay, V., *La police judiciaire*, París, PUF, "Que sais-je?", 1997 (2ª ed.).
James, S. H., *Interpretation of Blood Stain, Evidence at Crime Scenes*, Nueva York, CRC Press, 1992.
Kashyap, V. K., Pillay V. V., "Insectes et enquête judiciaire", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 417, 1989.
Kearney, J. J., "Les progrès de la recherche médico-légale sur le sang depuis 1989", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 444, 1993.

Copyrighted material

Kopp, I., "L'informatique dans les laboratoires de police scientifique", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 474-475, septiembre de 1999.

Laing, D. K., "Progrès récents dans l'expertise des peintures", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 431, 1991.

Lecomte-Bonnet, D., Nicolas G. F., *Guide pratique de thanatologie médico-légale à l'usage des professions judiciaires*, París, Le Léopard d'or, 1989.

Lee, H. C., Gaensslen, "Advances in finger print technology", Nueva York, CRC Press, 1992.

Locard, Ed., *L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques*, París, Flammarion, 1920.

—*Manuel de technique policière*, París, Payot, 1923.

—*Traité de criminalistique*, 6 vols., Lyon, Desvigne, 1931-1940.

Le Clere M., *Manuel de police technique*, París, Police-Revue, 1974 (2ª ed.).

Picca, G., *La criminologie*, París, PUF, "Que sais-je?", 2000 (5ª ed.).

Postiaux, C., "Identification informatisée des empreintes digitales en Belgique", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 435, marzo-abril 1992.

Martin, D., *Les fichiers de la police*, París, PUF, "Que sais-je?", 1999.

Mira, A., Mali, M., Malicier, D., *L'identification en médecine légale*, Lyon, Lacassagne, 1991.

Nir-El, Y., "Forensic characteristics of colored polyethylene bags", *J. For. Sciences*, vol. 39, núm. 3, mayo de 1994.

Reiss, R. A., *La photographie judiciaire*, París, Mendel, 1903.

Robinson, H. M., *La science contre le crime*, París, Payot, 1941.

Safertein, R., *Forensic Science Handbook*, Princehall, Englewood, 1982.

Salce, J., Buquet, A., "L'expertise clinique judiciaire par la méthode graphométrique", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 432, 1991.

Sannie, C., *La recherche scientifique du criminel*, Albin Michel, 1967.

Seta, S., "Identification judiciaire des taches de fluides corporels", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 307, abril 1977.

Soderman, H., O'Connell, J., *Modern Criminal Investigation*, Nueva York, Funk and Wagnalis Co., 1952.

Sommerville, B., Gee D., "La recherche scientifique sur les odeurs corporelles: des perspectives nouvelles pour la lutte contre la criminalité", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 407, 1987.

Tappolet, J., *Étude de l'application en criminalistique de la chromatographie en couche mince à haute performance (CCMHP) à l'examen des traits d'encres liquides noires, bleues et bleu-royal*, Thèse doctorat, Université de Lausanne, 1984.

Copyrighted material

Tenhunen, M., Mākelā, H., "L'informatique au service de l'identification des victimes de catastrophes", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 452-453, 1995.

Tiffes, D., Buquet, A., Ceccaldi, P. F., "Les stylos à bille à encre effaçable", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 336, 1980.

Viqueira Hinojosa, A., "L'inspection du verre et des vitres sur les lieux du délit", *Rev. int. pol. crim.*, núm. 437-438, 1992.

Copyrighted material

Copyrighted material

acción directa, 17
activación neutrónica, 156
AFIS, 49, 169
Alec Jeffreys, 31
Alfa Trading SA, 22
análisis toxicológicos, 216
anátomo-patológico, 188
antorcha de plasma, 151
aparato Polilight pl6, 130
armadura de tejido, 82
arsénico, 221
arte de la dactilografía o de la captación informática, 214
Aubron, 17
Audran, 17-18
autenticación a partir del corazón, 210
autenticación a partir del ojo, 207
autenticación por el olor corporal, 211
autenticación por la voz, 211
autenticación por los dientes, 211

bala, 37
Bayle, 29, 31
Bertillon, 28, 31
Besse, 17-19
betagrafía, 156
Blandin, 17-18
bordes, 82
Brana, 17-18
búsqueda del grupo de secreción, 76

cámaras, 124
captura de imagen, 137
Cardoso, 21
cariotipo, 172
carta virtual, 71
cebo, 39
Ceccaldi, 15, 25, 29
cianuro, 222
Cipriani, 17
citología, 188
coleópteros, 197
Collor de Mello, 20-24
condiciones de tiro, 36, 38
convertidores, 124-125
correo electrónico, 69
criminalística, 28
criminología, 27
cromatografía, 140
cromatografía en fase gaseosa, 143

dactiloscopia, 42
dactilotecnia, 42
decadactilar, 42
Delgado, 19
Delmanto, 21-24
dermatoglifos digitales, 44
dermatoglifos palmares y plantares, 87
Dessagne, 25
determinación de la fecha de la muerte, 192
determinación entomológica, 194
difracción X, 153
digitación clásica, 215
digitación moderna, 215
dípteros, 197
doble hélice, 173
dualidad, 15

efecto Raman, 147-148
enfriamiento cadavérico, 192
escanografía, 131

Copyrighted material

espectrofotometría Raflar, 148
espectrofotómetro, 145
espectrógrafo, 145
espectrometría de absorción atómica, 151
espectrometría de absorción infraroja, 146
espectrometría de masa, 150
espectrometría de masa en chispas, 150
espectrometría de resonancia magnética nuclear, 151
espectrometría infrarroja con transformada de Fourier, 63
espectrómetro, 145
espectroscopio, 145
esperma, 75
estado cataléptico, 231
estado de descomposición avanzado, 193
estado letárgico, 231
estado sonambúlico, 231
estela, 133
estricnina, 221
estudio toxicológico, 188
Euroscan, 133
exámenes poligráficos, 228
excrementos humanos, 77

FACES, 163
falsificaciones gráficas, 51
Fernández, 18, 25-26
fibras, 81
filiación antropométrica, 158
fluorescencia X, 155
FMP, 59-60
fotocopia digital, 137
fotocopiadoras digitales, 66
fotografía antropométrica, 159
fotomontajes, 64

Galton, 31
Gross, 28, 31

Heindl, 31
Herschell, 31
hilos, 81
hipnosis, 231
histología, 188
huellas de suelas o de neumáticos, 85
huellas digitales, 41, 202
huellas labiales, 90

identificación de la munición, 36-37
identificación del arma, 36
incendio, 91
infrarrojo cercano, 128
infrarrojo medio, 128

Joxe, 29

Lacassagne, 28, 31
lámpara de xenón, 48
láser argón, 48
lentilla de Fresnel, 135
lepidópteros, 197
lividez cadavérica e hipostasis, 193
Locard, 13, 28
luz rasante, 134

Madrières, 25
manuscritos, 50
medular, 78
Menigon, 17
mensuraciones de la mano, 203
metalización al vacío, 47
método microbiológico, 49
método por absorción e inhibición, 77
método por absorción y elución, 77
métodos biológicos, 216
métodos fotogramétricos, 199
métodos fotométricos, 199
métodos reconstructivos, 199
microscopio electrónico de barrido, 40, 82
microscopio mecánico de barrido, 122

Copyrighted material

modo de ensamblado, 82
monodactilar, 48
montaje por yuxtaposición en corte, 166

Nepote, 29

odontología, 189
operación Uruguay, 22

PARM, 61
pelos y cabellos, 78
polimorfismo genético, 171
pólvora, 37-39
pólvora negra, 37
pólvoras piroxiladas, 37
procedimiento electrostático, 47, 134
procedimiento Foto-Fit, 162
procedimiento Identi-Kit, 161
procedimiento PIK, 162
productos dopantes, 224
putrefacción cadavérica, 193

radiografía, 131, 188
rastros de herramientas, 84
rastros de pinturas de automotor, 86
rastros de uñas, 90
raya de Rayleigh, 147
rayos de Grenz, 131
reconocimiento dinámico de la firma, 54
Reiss, 28
relevamiento y revelación de las huellas, 45
reproducción digital de la mano, 204
reproducción térmica por barrido, 206
retrato hablado, 159
retrato-robot, 160
reveladores mecánicos, 46
reveladores químicos, 46
rigidez cadavérica, 192
Rouillan, 17
rugosimetría de superficie en 2D, 61
rugosímetro en 3D, 38

saliva, 76
sangre, 74
Sannié, 29, 31
sentido de torsión, 81
signos oculares, 193
sistema de reconocimiento no dinámico, 55
SMP, 59-60
sobreimpresión fotográfica, 166
sonda, 174
Stic-Canonge, 162-163
sudor, 76
suelos, 81
sumisión química, 226
superposición fotográfica, 165
surcos, 133

taco, 38
técnica de la PCR, 174
técnica de Southern, 175
técnica del RFLP, 174
técnicas de análisis de la voz, 184
termografía infrarroja, 127
test de Bart, 191
test de parafina, 39
test de paternidad, 179
textiles, 81
TIC, 35
tipificación de ADN, 172
tomografía, 188
tóxicos, 223
TSC, 34-35

urdimbre, 82

vaina, 37
Vieira, 21-22

Copyrighted material

Copyrighted material

ÍNDICE

ACTUALIZACIÓN A LA SEGUNDA EDICIÓN FRANCESA 7
INTRODUCCIÓN 13

1. ALGUNOS CASOS ESCLARECIDOS GRACIAS A LA CRIMINALÍSTICA 17

1. Terrorismo internacional "Acción Directa" 17
2. La "operación Uruguay", Brasil 20
3. El "robo del tío bonachón", Francia 24

2. PRESENTACIÓN GENERAL: LAS DIFERENTES DENOMINACIONES EN EL MUNDO 27

1. La criminalística francesa 28
2. Las ciencias forenses anglosajonas 30
3. La Kriminaltechnik *alemana* 31

3. LOS MÉTODOS TRADICIONALES 34

1. Las comprobaciones en el lugar de los hechos 34
2. La balística 36

2.1. La identificación del arma 37
2.2. La identificación de la munición 37
2.3. Las condiciones de tiro 38
2.4. Los residuos de los disparos 39
2.5. La trayectoria de los disparos 40
2.6. Los sistemas de identificación de las armas de fuego 40

3. Las huellas digitales 41

3.1. La formación de las huellas digitales 41
3.2. La dactiloscopia 42
3.3. La dactilotecnia 42
3.4. El procesamiento informatizado 43

Copyrighted material

3.5. Los dermatoglifos digitales 44
3.6. Relevamiento y revelación de las huellas 45
3.7. Los sistemas informáticos (AFIS) 46

4. Las escrituras y los documentos 50

4.1. Los manuscritos y las falsificaciones gráficas 50
4.2. Los documentos dactilografiados y las bajadas informáticas 56
4.3. Los documentos reprografiados o impresos 63
4.4. Los documentos escritos y transmitidos a distancia 68

5. Los rastros, manchas, restos 72

5.1. Manchas y restos biológicos 74
5.2. Manchas y restos no biológicos 79
5.3. Rastros o huellas 84

6. Los incendios y las explosiones 91

6.1. Los incendios 91
6.2. Las explosiones 94

4. LOS MÉTODOS FOTOGRÁFICOS 97

1. La fotografía de plata 97

1.1. Fotografía por contacto 97
1.2. Fotografía por reflexión 98
1.3. Fotografía por filtrado 98
1.4. Fotografía con luz transmitida 99
1.5. Fotografía con luz negra 100
1.6. Fotografía infrarroja 101
1.7. Fotografía nocturna 102

2. La fotografía digital 102
2.1. Resolución/definición 104
2.2. Acabado del color 104
2.3. Fotografía en 3D 105

Copyrighted material

5. LOS MÉTODOS DE EXAMEN 106

1. Los métodos microscópicos. 106

1.1. El microscopio óptico 106
1.2. El microscopio polarizador 107
1.3. El microscopio estereoscópico 107
1.4. El microscopio óptico de barrido 109
1.5. Los microscopios electrónicos 109
1.6. El microscopio electrónico de barrido 111
1.7. El microscopio Auger de barrido 113
1.8. La microsonda electrónica de Castaing 113
1.9. La microsonda iónica (MSI) 114
1.10. Los microscopios de campo cercano 117

2. La rugosimetría de superficie 118

2.1. Utilización de la rugosimetría en 2D para los manuscritos 119
2.2. Utilización de la rugosimetría en 3D en balística 121

3. Los métodos de visión por radiaciones electromagnéticas 123

3.1. Las cámaras UV e IR 124
3.2. Los convertidores de imágenes 124
3.3. Reflectometría infrarroja 127
3.4. La termografía infrarroja 127
3.5. El láser de argón 129
3.6. Lámpara de xenón 130
3.7. La radiografía y la escanografía X 131

4. Los métodos de lectura de los trazos en surcos 133

4.1. Fotografía con iluminación oblicua 134
4.2. Procedimiento electrostático ESDA (Electro-Static Document Analyser) 136
4.3. Las tecnologías digitales 137

Copyrighted material

6. LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS 140

1. Los métodos cromatográficos 140

1.1. Cromatografía electroforesis sobre papel 140
1.2. La cromatografía sobre capa delgada de alta performance 142
1.3. La cromatografía en fase gaseosa 143

2. Los métodos espectrométricos 144

2.1. Espectrometría de absorción molecular (UV visible IR cercano) 146
2.2. Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (IRTF) 146
2.3. Espectrometría de difusión molecular (efecto Raman) 147
2.4. Espectrofotometría Raflar 148
2.5. Espectrometría de masa de alta resolución 150
2.6. Espectrometría de masa por chispas 150
2.7. Espectrometría de emisión por plasma (ICPS) 151
2.8. Espectrometría de resonancia magnética nuclear (RMN) 152
2.9. Espectrometría de absorción atómica 152
2.10. Espectrometría de multirreflexión con dirección privilegiada (difracción X) 153
2.11. Espectrometría de fluorescencia X 154

3. Los métodos radioisotópicos 155

3.1. Betagrafía 155
3.2. Activación neutrónica 156
3.3. Utilización de un trazador 156

7. LA IDENTIFICACIÓN Y LA AUTENTICACIÓN HUMANAS 158

1. La identificación de los individuos (ante mortem) 158

1.1. La filiación antropométrica 158
1.2. La filiación descriptiva 159

Copyrighted material

1.3. Las técnicas fotométricas y de procesamiento de la imagen 164
1.4. Identificación por las huellas digitales 169
1.5. Identificación por los tests de ADN (huellas genéticas) 170

1.5.1. Reseña histórica 170
1.5.2. El código de barras de los genetistas 171
1.5.3. La naturaleza de las muestras 171
1.5.4. Los métodos de identificación por tipificación de ADN 172
1.5.5. El test de paternidad 179
1.5.6. El marco jurídico 180
1.5.7. El fichero nacional de perfiles genéticos 181

1.6. El análisis audiométrico 183

1.6.1. Fisiología de la fonación 183
1.6.2. Las técnicas de análisis de la voz 184

2. La identificación de las víctimas (post mortem) 186

2.1. El examen del cadáver 186
2.2. El examen odontológico 189
2.3. La determinación de la fecha de la muerte 192
2.4. Reconstrucción facial 199

3. Autenticación y biometría 200

3.1. Autenticación a partir de la mano 202
3.2. Autenticación a partir del rostro 204
3.3. Autenticación a partir de la oreja 207
3.4. Autenticación a partir del ojo 207
3.5. Autenticación a partir del corazón 210
3.6. Autenticación por los dientes 211
3.7. Autenticación por el olor corporal 211
3.8. Autenticación por la voz 211
3.9. Autenticaciones multimodales 212
3.10. Autenticación comportamental 212

Copyrighted material

8. LOS MÉTODOS BIOLÓGICOS Y LOS ANÁLISIS TOXICOLÓGICOS 216

1. Los métodos biológicos 217

1.1. La citología 218
1.2. La serología 218
1.3. La enzimología 219
1.4. La microbiología 219
1.5. La biología molecular (huellas genéticas) 219

2. Los análisis toxicológicos 221

2.1. Los venenos y gases mortales 221
2.2. Los tóxicos 223
2.3. Los productos dopantes 224
2.4. La sumisión química 226

9. Los métodos artificiales que pueden conducir a la confesión 228

1. Los exámenes poligráficos 228
2. Termografía infrarroja 230
3. La hipnosis 231
4. El narcoanálisis 231

CONCLUSIÓN 233

GLOSARIO 235

BIBLIOGRAFÍA 241

ÍNDICE TEMÁTICO 247

Copyrighted material